

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL –  
PPGECC

LEIDIMARA APARECIDA MARTINS KOTOVIEZY

**DESEMPENHO DE COMPOSIÇÕES DE ARGAMASSAS  
COLANTES FORMULADAS EM LABORATÓRIO COM ÊNFASE NO  
EFEITO DA CURA TÉRMICA SEGUNDO A NBR 14081-4**

CURITIBA  
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL –  
PPGECC

LEIDIMARA APARECIDA MARTINS KOTOVIEZY

**DESEMPENHO DE COMPOSIÇÕES DE ARGAMASSAS  
COLANTES FORMULADAS EM LABORATÓRIO COM ÊNFASE NO  
EFEITO DA CURA TÉRMICA SEGUNDO A NBR 14081-4**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de concentração em Materiais e Estruturas, Departamento de Construção Civil, Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa

Co-orientador: Dr. Isac José da Silva.

CURITIBA  
2014

---

K87d

Kotoviezy, Leidimara Aparecida Martins

Desempenho de composições de argamassas colantes formuladas em laboratório com ênfase no efeito da cura térmica segundo a NBR 14081-4/ Leidimara Aparecida Martins Kotoviezy. – Curitiba, 2014.  
120f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, 2014.

Orientador: Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa – Co-orientador: Isac José da Silva.

Bibliografia: p. 98-108.

1. Argamassa - Adesivos. 2. Aderências. 3. Adesivos - Maturação. I. Universidade Federal do Paraná. II. Costa, Marienne do Rocio de Mello Maron da. III. Silva, Isac José da . IV. Título.

CDD: 691.5

---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

LEIDIMARA APARECIDA MARTINS KOTOVIEZY

### **DESEMPENHO DE COMPOSIÇÕES DE ARGAMASSAS COLANTES FORMULADAS EM LABORATÓRIO COM ÊNFASE NO EFEITO DA CURA TÉRMICA SEGUNDO A NBR 14081-4**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Materiais e Estruturas, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr<sup>a</sup>. Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil -  
UFPR

Co-orientador:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Isac José da Silva.  
Votorantim Cimentos

Examinadores:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr<sup>a</sup>. Nayara Soares Klein  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil –  
UFPR

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Alberto Cerri  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Eduardo Pereira  
Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de  
Ponta Grossa - PR - UEPG

Curitiba, 03 de Junho de 2014.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me oferecer a oportunidade na vida acadêmica, pela saúde, persistência no desenvolvimento desse trabalho. À minha família, e ao meu marido Victor que sempre me apoiaram, incentivaram a concluir o mestrado.

À minha orientadora Prof. Dra. Marienne pela enorme dedicação prestada, pela paciência e compreensão quanto a minha situação de mestrandia e profissional durante o período. Pelo tempo dedicado, que mesmo longe, conseguia transmitir parte do seu conhecimento técnico para o desenvolvimento deste trabalho. Aqui fica registrado o meu: *muito obrigada!!!*

Ao meu co-orientador Isac, pelas valiosas orientações técnicas, pela disponibilidade de fornecer apoio, esclarecimento de dúvidas, e pela oportunidade proporcionada de realizar o trabalho experimental dentro dos laboratórios da Votorantim Cimentos.

À todos os professores do Programa de Pós Graduação de Engenharia de Construção Civil da UFPR cujas disciplinas cursei, pelo imenso conhecimento transmitido.

Agradeço à todas as pessoas que colaboraram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho, tanto nos âmbitos, acadêmico, técnico e pessoal. *Obrigada.*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contexto.....	1
1.2	Objetivo .....	3
1.3	Justificativas .....	3
2	REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	Constituição das Argamassas Colantes .....	5
2.1.1	Materiais .....	5
2.1.2	Agregados.....	5
2.1.3	Aditivos Poliméricos .....	6
2.2	Hidratação de Pastas de Cimento Aditivadas .....	14
2.3	Influência da temperatura na hidratação de pastas de cimento Portland .....	21
2.4	Influência dos polímeros nas propriedades das argamassas colantes .....	26
2.4.1	Éteres de celulose .....	27
2.4.2	Polímero redispersível - VAE (vinila acetato de etileno).....	31
2.5	Influência das condições de cura na resistência de aderência das argamassas colantes	36
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
3.1	Variáveis do estudo.....	44
3.2	Materiais empregados .....	46
3.2.1	Ligante .....	46
3.2.2	Aditivos poliméricos .....	46
3.2.3	Agregado miúdo .....	47
3.2.4	Substrato Padrão .....	47
3.2.5	Placas Cerâmicas .....	48
3.3	Métodos de ensaios.....	49
3.3.1	Procedimento de mistura .....	50
3.3.2	Ensaio no estado fresco.....	51
3.3.3	Ensaio no estado endurecido.....	56

3.3.4	Caracterização da Microestrutura .....	58
4	Resultados e Discussões .....	63
4.1	Primeira etapa – Avaliação da influência do teor de cimento .....	63
4.1.1	Determinação do Deslizamento - NBR14081-3 (2012) .....	63
4.1.2	<i>Quick Open Time</i> – Tempo em aberto rápido .....	64
4.1.3	Densidade e Teor de ar incorporado - NBR 13278 (2005).....	65
4.1.4	Squeeze Flow e Pull out Flow .....	66
4.1.5	Determinação da Resistência de Aderência à Tração – NBR 14081-4 (2012) ...	70
4.1.6	Conclusão da Primeira Etapa.....	72
4.2	Resultados da segunda etapa – Avaliação do impacto dos aditivos poliméricos nas propriedades das argamassas colantes.....	73
4.2.1	Determinação do Deslizamento - NBR14081-3 (2012) .....	74
4.2.2	<i>Quick Open Time</i> – Tempo em aberto rápido .....	76
4.2.3	Densidade e Teor de ar incorporado - NBR 13278 (2005).....	77
4.2.4	Squeeze flow e pull out flow .....	79
4.2.5	Determinação da Resistência de Aderência à Tração – NBR 14081-4 (2012) ...	84
4.2.6	Conclusão da segunda etapa .....	88
4.3	Resultados da terceira etapa – Avaliação da microestrutura das pastas de argamassas através de análises de DRX e MEV. ....	90
4.3.1	Resultados de Difração de Raios-X.....	90
4.3.2	Análise de imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por dispersão de energia de raio-x (EDS) .....	93
5	CONCLUSÕES .....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do efeito de aditivos tensoativos sobre uma partícula imersa no meio aquoso (MEHTA e MONTEIRO, 2008).	7
Figura 2 - Estrutura da celulose - (a) MC, (b) HEC, (c) HEMC, (d) HPMC (PETIT, 2013).	8
Figura 3 - Aspecto das partículas do pó de HEC em MEV (SILVA, 2001).	9
Figura 4 - Estrutura química do polímero VAE - vinila acetato de etileno (CARBONE, 2012).	10
Figura 5 - Esquema dos estágios de formação da película polimérico (GRETZ <i>et al.</i> , 2011 apud CARBONE, 2012).	11
Figura 6 - (a) Estrutura densa da película polimérica VAE (b) Interconexões elásticas da película polimérica VAE (AFRIDI <i>et al.</i> , 2003).	12
Figura 7 - Interface porcelanato/argamassa - ancoragem química (MANSUR, 2009).	13
Figura 8 - Primeira Etapa: após a mistura com a água pequenas agulhas de etringita são formadas (BEELDENS <i>et al.</i> , 2003).	16
Figura 9 - Segunda Etapa: após a mistura, as partículas de polímero interagem com as partículas de cimento e dos agregados. No caso de cura seca, ocorre a formação da película polimérica em torno dos grãos (BEELDENS <i>et al.</i> , 2003).	16
Figura 10 - Terceira Etapa: A hidratação do cimento continua, a formação da película polimérica começa em alguns pontos específicos - partículas poliméricas se unem para formar uma película contínua (BEELDENS, <i>et al.</i> , 2003).	17
Figura 11 - Etapa Final: Continua a hidratação do cimento, as partículas de polímero se aglutinam em uma película contínua de cimento - partículas de cimento são hidratadas (BEELDENS, <i>et al.</i> , 2003).	18
Figura 12 - Partículas de C <sub>3</sub> A hidratando na presença de VAE (SILVA <i>et al.</i> , 2005).	19
Figura 13 - Partículas de C <sub>3</sub> A hidratando em solução saturada de hidróxido de cálcio (SILVA <i>et al.</i> , 2005).	19
Figura 14 - Partículas de C <sub>3</sub> S hidratando em solução saturada contendo HPMC (SILVA <i>et al.</i> , 2005)	20
Figura 15 – O efeito da temperatura nos resultados de resistência à compressão de argamassas e concretos (LOTENBACH <i>et al.</i> , 2007).	24
Figura 16 – a) Grau de hidratação analisada por imagem de SEM (GALLUCI <i>et al.</i> , 2013)	24
Figura 17 – b) Porosidade capilar analisada por imagem de SEM (GALLUCI <i>et al.</i> , 2013).	25
Figura 18 - O efeito da temperatura sobre a quantidade de porosidade capilar, de pastas curadas isotermicamente (GALLUCI <i>et al.</i> , 2013).	25
Figura 19 - Calor liberado na hidratação do cimento OPC: Pasta pura; F1: Argamassa colante com 0,4 de adição de metilcelulose; W2: Argamassa colante com 0,4 de adição de hidroxipropilmetilcelulose (WINNEFELD, 2012).	28
Figura 20 - A): 100% de adesividade entre a argamassa F1 e a peça sobreposta > tempo em aberto > resistência de aderência; B): Falta de adesividade da argamassa W2, prejudica a resistência de aderência nessa interface (Adaptado de WINNEFELD, 2012).	29
Figura 21 - Ensaio de resistência de aderência à tração - cerâmica 30x30 cm, corpos de prova de diversos pontos (WINNEFELD, 2012).	30
Figura 22 – Resistência de aderência das argamassas F1 e W2, dependendo da distância do centro da cerâmica e as condições de cura (WINNEFELD, 2012).	30
Figura 23 - Interface argamassa s/polímero VAE/cerâmica - (a) Abs > 6%; (b) Abs → 0%	32
Figura 24 - Interface argamassa c/polímero VAE/cerâmica - (c) Abs > 6%; (d) Abs → 0%	33



- Figura 25 - Resultados de resistência de aderência das argamassas modificadas com polímeros. O teor de PVA na formulação CE/PVA é igual o teor de PVA nas formulações (CE/VC; CE/AS; CE/VAE), apenas na formulação CE 3VAE o teor de VAE é três vezes maior que nas demais argamassas (JENNI, 2005). 34
- Figura 26 - Análise de MEV da microestrutura da argamassa modificada com polímeros (formulação CE-3VAE). Detalhes: (a) Visão geral mostrando uma secção transversal através da camada de argamassa. A microestrutura é tipicamente dominada por grande número de bolhas de ar. (b) película do copolímero na fissura na interface da argamassa/cerâmica. (c) película de CE na interface das bolhas de ar. (d) película do copolímero no poro capilar da matriz de cimento/polímero (JENNI, 2005). 35
- Figura 27 - Influência da cura na resistência à tração (OHAMA, 1998). 36
- Figura 28 - Influência da cura na resistência à tração (LAVELLE, 1988). 37
- Figura 29 - Microestrutura em argamassa modificada com éter de celulose (a) previamente à imersão e (b) após a imersão (JENNI, 2003). 38
- Figura 30 - Resistência de aderência em função da placa cerâmica e condição de cura. (LUNARDI, 2011). 39
- Figura 31 - Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração (HÄCKER *et al.*, 2011) 40
- Figura 32 - Cristais de etringita (a) cura normal 23 °C (b) cura térmica 70°C (HÄCKER *et al.*, 2011) 41
- Figura 33 - Resultados de DRX para cura norma e cura térmica (HÄCKER *et al.*, 2011) 41
- Figura 34 - Resultados de aderência para cura ar (dry - seca), submersa (wet - imersa) e estufa (heat - térmica) (PETIT, 2013). 42
- Figura 35 - Fluxograma do programa experimental (FONTE: Própria) 43
- Figura 36 - Formulações de argamassa colante arbitradas na pesquisa (FONTE: Própria). 45
- Figura 37 - Distribuição granulométrica da areia de quartzo (FONTE: Própria) 47
- Figura 38 - Especificação do substrato padrão (FONTE: Própria) 47
- Figura 39 - Procedimento de mistura da argamassa - (a) mistura do pó na água (b) argamassa após o tempo de maturação (FONTE: Própria) 50
- Figura 40 - Ensaio de determinação do Deslizamento - (a) Etapa de colocação dos pesos sobre as peças de porcelanato- (b) Etapa de posicionamento do substrato de concreto na posição vertical. (FONTE: Própria) 52
- Figura 41 - Método de quick open time (tempo em aberto rápido) - a) procedimento do ensaio b) análise visual da adesão da argamassa na peça cerâmica em função do tempo (FONTE: Própria). 53
- Figura 42 - Densidade a fresco da argamassa a) adensamento da argamassa b) pesagem do conjunto (recipiente + argamassa) (FONTE: Própria).Ensaio de Squeeze Flow e Pull Out Flow 54
- Figura 43 - Ensaio de Squeeze Flow - (a) punção estacionada na superfície do corpo de prova - prensa EMIC (b) corpo de prova submetido à carga de compressão (FONTE: Própria) 55
- Figura 44 - Ensaio de Pull Out Flow - (a) corpo de prova submetido à carga de tração (b) ruptura da estricção (FONTE: Própria) 55
- Figura 45 - Procedimento de moldagem (Fonte: ROSSA, 2009) a) posicionamento das placas de substrato padrão b) imprimação da placa para regularização da superfície c) formação dos cordões d) tempo estendido de 5 minutos e) posicionamento das placas cerâmicas f) assentamento das placas cerâmicas com peso de 2 kg sobrepostas em cada placa (5x5 cm). 56

Figura 46 - Procedimento de cura - (a) Estante metálica para acondicionamento dos substratos para Cura normal (b) Sala para os procedimentos de cura (c) Estufa para acondicionamento dos corpos de prova em ambiente de cura térmica (cura em estufa) (FONTE: Própria)	57
Figura 47 - Resistência de Aderência – (a) posicionamento do dinamômetro sobre o conjunto (b) arrancamento do primeiro corpo de prova (FONTE: Própria)	58
Figura 48 - (a) Preparação das pastas (b) Prateleiras na estufa para cura térmica (FONTE: Própria)	59
Figura 49 - Preparação das amostras para a análise por MEV – (a) Equipamento para metalização (b) Amostras metalizadas com ouro (FONTE: Própria)	60
Figura 50 – Análise de MEV – (A) Microscópio (b) Porta amostras (FONTE: Própria)	61
Figura 51 - Análise de DRX - (a) preparação da amostra (b) corpo de prova (c) difratômetro s (FONTE: Própria)	62
Figura 52 - Influência do teor de cimento sobre o deslizamento	63
Figura 53 – Quick Open Time <i>versus</i> teor de cimento – (parte destacada na figura mostra a formulação que apresentou menor área de cobertura em função do tempo).	65
Figura 54 - Densidade e ar incorporado nas argamassas – Primeira Etapa	66
Figura 55 - Curvas de Carga de Compressão <i>versus</i> Deslocamento (taxa de cisalhamento de 0,1mm/s) – Primeira Etapa	67
Figura 56 - Ensaio de Pull Out Flow (adaptado de KUDO, 2012)	69
Figura 57 – Sequência do ensaio, puxada da profundidade de 8 mm na velocidade 0,1mm/s – Primeira Etapa	69
Figura 58 - Resultados de aderência das argamassas com variação do teor de cimento – Primeiro Etapa	71
Figura 59 - Éter de Celulose (HPMC) <i>versus</i> Deslizamento – Segunda Etapa	75
Figura 60 - Polímero Redispersível <i>versus</i> deslizamento	75
Figura 61 - Quick Open Time <i>versus</i> teor de Éter de celulose HPMC – (parte destacada na figura mostra as formulações que apresentaram menor área de cobertura em função do tempo).	76
Figura 62 - Quick Open Time <i>versus</i> Polímero Redispersível VAE – (parte destacada na figura mostra as formulações que apresentaram menor área de cobertura em função do tempo).	77
Figura 63 - Éter de celulose (HPMC) <i>versus</i> Densidade e Ar incorporado	78
Figura 64 - Polímero Redispersível (VAE) <i>versus</i> Densidade e Ar incorporado	78
Figura 65 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) <i>versus</i> Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).	79
Figura 66 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) <i>versus</i> Pull Out Flow (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).	80
Figura 67 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) <i>versus</i> Squeeze Flow (Teores fixos: 35% CP; 2,0 VAE; 23% Água).	80
Figura 68 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) <i>versus</i> Pull Out Flow (Teores fixos: 35%CP; 2,0 VAE; 23% Água).	81
Figura 69 - Efeito do Polímero Redispersível (VAE) <i>versus</i> Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20%HPMC; 23% Água).	82
Figura 70 – Efeito do Polímero redispersível (VAE) <i>versus</i> Pull Out Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20%HPMC; 23% Água).	83
Figura 71 - Efeito do Polímero Redispersível (VAE) <i>versus</i> Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20%HPMC; 23% Água).	83

Figura 72 - Efeito do polímero redispersível (VAE) <i>versus</i> Pull Out Flow (Teores fixos: 35%CP; 0,20HPMC; 23% Água).	84
Figura 73 - Efeito do éter de celulose (HPMC) na resistência de aderência (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).	85
Figura 74 - Efeito do éter de celulose (HPMC) na resistência de aderência (Teores fixos: 35%CP; 2,0 VAE; 23% Água).	85
Figura 75 - Efeito do polímero redispersível (VAE) com 25% de cimento na resistência de aderência (Teores fixos: 25%CP; 0,20HPMC; 23% Água).	86
Figura 76 - Efeito do polímero redispersível com 35% de cimento na resistência de aderência	87
Figura 77 - Resultados de resistência de aderência à tração na cura térmica	88
Figura 78 - Difratoograma típico das pastas de argamassas.	91
Figura 79 - Difratoograma das pastas submetidas à cura normal.	92
Figura 80 - Difratoograma das pastas submetidas à cura em estufa.	92
Figura 81 - Pasta aditivada (a) Cura Normal (b) Cura em Estufa.	93
Figura 82 - Pasta pura (a) Cura Normal (b) Cura em Estufa	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades éter de celulose vs argamassa colante (BREA, 2009).....	27
Tabela 2 - Formulações das argamassas modificadas com polímeros (JENNI, 2005).....	33
Tabela 3 - Características físico-químicas do cimento Portland (CP II F-32).....	46
Tabela 4 - Especificações dos aditivos poliméricos fornecidas pelo fabricante.....	46
Tabela 5 - Especificações das placas cerâmicas fornecidas pelos fabricantes. ....	48
Tabela 6 – Relação de todas as formulações de argamassas colantes produzidas na pesquisa. .....	49
Tabela 7 – Resultado dos ensaios da primeira etapa das argamassas no estado fresco - variação do teor de cimento (aditivos constantes: 0,20 HPMC; 2,0 VAE). ....	67
Tabela 8 - Formulações da primeira etapa - Variação do Cimento na resistência de aderência .....	71
Tabela 9 – Resultados de resistência de aderência à tração da primeira etapa.....	73
Tabela 10 - Formulações aplicadas à resistência de aderência à tração devida o deslizamento ser > 2mm .....	84
Tabela 11 - Formulações aplicadas em análise de MEV e DRX.....	90

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC: Argamassa Colante

CB NBR: Comissão Brasileira de Normatização

CP: Cimento Portland

C-S-H: Silicato de Cálcio Hidratado

DRX: Difração de Raios-X

DTG: Derivada da Termogravimetria

EDS: Dispersão de Energia de Raios-X

FRX: Fluorescência de raios-X

HEC: Hidroxietilcelulose

HEMC: Metil-hidroxietilcelulose

HPMC: Hidroxipropilmetilcelulose

MC: Metilcelulose

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR: Norma Brasileira

Tg: Temperatura da transição vítrea

TMFF: Temperatura mínima de formação de película

VAE: Acetato de vinila etileno

#: Peneira ou “mash”

## RESUMO

As argamassas colantes utilizadas para o assentamento de revestimentos cerâmicos em pisos e paredes são compostas de ligante, agregado com dimensão máxima  $\leq 0,6$  mm e são modificadas com polímeros celulósicos e vinílicos que têm finalidade de alterar a fase aquosa da argamassa e interagir na hidratação do cimento, modificando assim as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. A norma brasileira NBR 14081-4 (2012) determina a resistência de aderência das argamassas colantes submetidas a diferentes tipos de cura (ao ar, submersa e térmica), porém na literatura existe uma lacuna do conhecimento ainda a ser preenchida no que se refere ao impacto da cura térmica no desempenho dessas argamassas. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da cura térmica segundo a NBR 14081-4 (2012) na resistência de aderência de argamassas colantes formuladas e caracterizadas em laboratório com teores variados de aditivos poliméricos e de cimento. Para tanto, o programa experimental dividiu o trabalho em três etapas. A primeira etapa consistiu na avaliação da influência de quatro diferentes teores de cimento portland (25; 30; 35 e 40% em relação à massa total dos sólidos) no desempenho das argamassas, com teores constantes dos aditivos poliméricos (HPMC e VAE). Na segunda etapa, com base nas avaliações da etapa anterior, foram avaliados quatro teores de cada aditivo (HPMC e VAE) e fixados dois teores de cimento (25 e 35%). Por fim, na terceira etapa o trabalho consistiu em realizar a avaliação da microestrutura, onde foram aplicadas análises de DRX e MEV nas pastas de argamassas, para melhor entender o efeito da temperatura na estrutura mineralógica das argamassas. Os resultados mostraram que, o cimento é fundamental no aumento da resistência de aderência mediante a cura térmica, porém foi também observado que a temperatura provoca degradação da etringita na estrutura interna da pasta cimentícia. Com isso, notou-se que o polímero VAE passa a ser o maior responsável pela resistência de aderência de argamassas colantes sob o impacto da cura térmica. Com os dados obtidos, esse trabalho vem também contribuir para o meio técnico e fabricantes de argamassas colantes, no desenvolvimento de formulações de argamassas colantes.

**Palavras-Chave:** Argamassas colantes, resistência de aderência, cura térmica.

## ABSTRACT

Adhesive mortars used for laying floor and wall tiles are composed of binder (cement), with a maximum aggregate size is  $\leq 0.6$  mm, and modified by cellulose and vinyl polymers, which is intended to provide changes in the aqueous phase and interact with the polymer mortar cement hydration process thus modifying the properties of mortars in fresh and hardened state. The NBR 14081-4 (2012) specifies the determination of the adhesion strength of adhesive mortars under different curing type (air, underwater and thermal), but there is a gap in the literature of knowledge yet to be exploited as regards the impact of thermal curing performance of adhesive mortars. Thus, this study aimed to evaluate the effect of thermal curing according to NBR 14081-4 (2012) on the bond strength of adhesive mortars formulated and characterized in the laboratory with varying amounts of polymeric additives and cement. For the study, the experimental design was divided into three steps. The first step was to evaluate the influence of the Portland cement in the performance of adhesive mortars, they were formulated from four cement contents was: 25; 30; 35 and 40% (on the total weight of solids) with content constant of polymeric additives (HPMC and VAE). In the second step, two amount of cement (25 and 35%) were selected based on reviews of the first stage, to evaluate four amount of each additive (HPMC and VAE) in order to verify the effect of these additives on the performance of adhesive mortars. Finally, the third step consisted of performing the work in a microstructure evaluation, where XRD and SEM were applied to the pastes of mortars, to better understand the effect of temperature on the mineralogical of mortars. The results showed, that the cement content was essential to obtain higher adhesion strength by thermal curing, nevertheless, it was observed that the effect of temperature causing degradation of the ettringite on cement mineralogy. However, it was noted that the vinyl additive VAE becomes the most responsible for the mortars do not lose bond strength on the impact of temperature (70°C). With the data obtained, this work contributes to the technical means and manufacturers of adhesives mortars, developing formulations of adhesive mortars.

**Keywords:** adhesive mortars, adhesion strength, thermal curing.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

Nos últimos 15 anos o Brasil quadruplicou sua produção de revestimentos cerâmicos, material que engloba pisos e azulejos, e hoje é o segundo maior fabricante mundial desses produtos. Com 866 milhões de metros quadrados (m<sup>2</sup>) produzidos em 2012, o país só perde para a China e já superou concorrentes tradicionais, como Espanha e Itália, que até alguns anos dominavam o setor (VASCONCELOS, 2013).

Para o assentamento dos revestimentos cerâmicos é utilizada argamassa colante, produto composto por cimento, agregado com dimensão máxima igual a 0,6 mm e polímeros celulósicos e vinílicos, estes últimos com a finalidade de proporcionar maior retenção de água, melhor trabalhabilidade, maior adesividade e maior elasticidade das argamassas (CINCOTTO, 1995).

As argamassas colantes atuam no mercado nacional desde a década de 60 para a utilização no assentamento de placas cerâmicas em paredes e pisos internos ou externos. O consumo dessas argamassas no mercado da construção civil vem crescendo ao longo do tempo. Parte desse maior consumo de argamassas colantes é devido ao intenso e crescente avanço tecnológico na área dos revestimentos cerâmicos, que proporciona peças com composições variadas (MOURA, 2009).

Atualmente encontra-se no mercado peças de revestimentos com diversos acabamentos de superfícies para vários tipos de aplicações, e com coeficientes de absorção de água cada vez menores o que acaba exigindo uma argamassa colante mais aditivada com polímeros, a fim de proporcionar maior adesividade no sistema de revestimento cerâmico e evitar problemas de natureza adesiva entre as diversas camadas do sistema cerâmico (MOURA, 2009).

Dentre os polímeros utilizados na produção de argamassas colantes pode-se citar o hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e o acetato de vinila e etileno (VAE) que são



amplamente utilizados no Brasil e no exterior (SILVA, 2005). Esses polímeros pertencem aos grupos dos éteres de celulose e poliméricos vinílicos, respectivamente, proporcionam alterações na fase aquosa da argamassa e interagem no processo de hidratação do cimento, modificando assim as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido (OHAMA, 1984).

Uma das principais propriedades da argamassa colante no estado endurecido é a resistência de aderência, ou seja, a capacidade da argamassa de aderir à placa cerâmica ao substrato sem apresentar descolamento nessa interface. A aderência de revestimentos cerâmicos ao substrato depende de dois mecanismos que condicionam a ancoragem entre os componentes, os processos físicos e os químicos, além daquele decorrente de uma combinação entre eles (CARASEK, 1996; COSTA E SILVA, 2001).

No Brasil a norma técnica que especifica os requisitos para argamassa colante é a NBR 14081-1 (2012). O método que determina a resistência de aderência de argamassas colantes é descrito na NBR 14081-4 (2012), a qual determina as condições de cura, fator de grande influência no desempenho das argamassas.

A resistência de aderência entre as diferentes camadas de um sistema de revestimento é umas das propriedades mais importantes do conjunto, pois confere qualidade e durabilidade ao sistema, visto que as manifestações patológicas comumente encontradas em edifícios referem-se ao descolamento desse conjunto, gerando preocupações relativas muito mais à segurança dos usuários, do que pelo aspecto estético comprometido (SILVA, 2003).

A deficiência na aderência das ligações entre as camadas que constituem o sistema de revestimento é principalmente influenciada pelas condições onde estes materiais ficam expostos, como às intempéries no caso de aplicações externas, ou locais com umidades excessivas, como é o caso de piscinas e banheiros (BAUER, 2005).

Tendo em vista os mecanismos de ligação, pode-se concluir que quanto melhor for o contato entre a argamassa colante e o substrato, maior será a aderência obtida. A maneira de melhorar esta propriedade é formular argamassa colante mais adesiva e mais deformável

mediante a adição de polímeros elastoméricos na forma de látices ou pós redispersíveis (BUCHER e NAKAMURA, 1995).

Dentro deste contexto, questões relacionadas à influência dos polímeros nas propriedades das argamassas colantes, e à deficiência da aderência no sistema de revestimento cerâmico mediante cura térmica, motivaram a avaliação do efeito dos constituintes de diferentes formulações de argamassas colantes na resistência de aderência mediante temperatura, segundo a NBR 14081-4 (2012).

## **1.2 Objetivo**

O objetivo principal desse trabalho é avaliar o efeito da cura térmica segundo a NBR 14081-4 (2012) na resistência de aderência de argamassas colantes formuladas e caracterizadas em laboratório com teores variados de aditivos poliméricos e de cimento.

## **1.3 Justificativas**

Além do Brasil ser o segundo maior fabricante de revestimentos cerâmicos, é também o segundo maior consumidor de revestimentos cerâmicos sendo este fator determinante para o aumento de consumo de argamassas colantes no país. No Brasil, encontram-se mais de 100 fabricantes de argamassas colantes, pulverizados em pequenas produções regionais. Também existem algumas grandes indústrias com fábricas em diversas cidades do Brasil (VASCONCELOS, 2013).

O assentamento de placas cerâmicas no mercado da construção civil é realizado em sua íntegra com argamassa colante industrializada. Entre os tipos de argamassas colantes (ACI, ACII e ACIII), a mais adotada é a ACI, representando cerca de 80% do volume de argamassas. O consumo estimado de argamassa colante é de três milhões de toneladas/ano, valor calculado por meio de uma correlação entre consumo de argamassa colante por m<sup>2</sup> de revestimento cerâmico (VASCONCELOS, 2013).

Com esse alto consumo de argamassas colantes justifica-se estudos desenvolvidos na área. Sendo a avaliação da resistência de aderência das argamassas colantes mediante a

cura térmica um tema em discussão no Programa Setorial de argamassas colantes, em que fabricantes, instituições de pesquisa e laboratórios de várias regiões do Brasil vem avaliando no âmbito do comitê técnico do CB-18 da ABNT, a aderência com cura em estufa. Dentre os fatores que estão sendo avaliados, tem-se: substrato; temperatura; equipamentos; e neste trabalho específico será avaliada a composição da argamassa.

No entanto, além da motivação científica desse estudo, que busca o aprofundamento de conhecimentos sobre a influência da composição da argamassa na resistência de aderência dos sistemas de revestimento cerâmico em condição de cura térmica, tem-se também a contribuição ao meio técnico que pode direcionar fabricantes a desenvolver formulações com melhor custo/benefício. Cabe destacar, que as decisões de compra do produto argamassa na maioria das vezes são direcionadas exclusivamente pelo seu desempenho no estado fresco, sem o conhecimento e avaliação do desempenho no estado endurecido. Este, por sua vez, quando adequado, irá proporcionar maior durabilidade das argamassas, diminuindo assim a probabilidade de manifestações patológicas.

O desenvolvimento de argamassas otimizadas, reduzem custos e impactos ambientais, tais como, menor consumo de cimento nas formulações e maior durabilidade de aderência dos revestimentos, proporcionando um ganho ambiental.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Constituição das Argamassas Colantes**

A norma técnica brasileira NBR 14081-1 (2012) define argamassas colantes como produtos industrializados que no estado anidro consistem de cimento, agregado mineral e são modificadas com polímeros. Quando misturados com a água, formam uma pasta viscosa, plástica e aderente, empregadas no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

O teor de água é uma questão importante, pois influencia diretamente no comportamento no estado fresco da argamassa e na durabilidade do sistema de revestimento cerâmico. Os polímeros podem interagir com outros componentes da formulação, em especial o ligante, proporcionando alterações nas propriedades específicas da argamassa colante (PÓVOAS, 1999; POURCHEZ, 2010).

O conhecimento dos insumos que compõem as argamassas, como a composição química e as propriedades físico-químicas não são suficientes para desenvolver formulações de argamassas colantes, pois é difícil estimar o desempenho da argamassa, devido à compatibilidade desses materiais. Deste modo faz se necessário analisar, dosar os constituintes da argamassa e submeter às formulações em experimentos (BREA, 2007).

#### **2.1.1 Materiais**

O ligante comumente utilizado na composição de argamassas colantes é o cimento Portland. Trata-se do insumo que contribui para maior desempenho mecânico, e representa 20 a 50% (massa) da formulação; o teor utilizado está relacionado com as especificações técnicas das argamassas, e tipo de aplicações (KUDO, 2012).

#### **2.1.2 Agregados**

O agregado comumente empregado na formulação de argamassa colante são de dimensão passante na peneira 0,6 mm e retido na peneira 0,09 mm, genericamente denominados areia de granulometria fina. Podendo ser de origem natural ou artificial.

A areia é matéria prima que representa maior volume na formulação, variando de 60 a 80% (massa) da formulação (COSTA, 2006). No entanto, qualquer variação na sua qualidade, ou seja, distribuição granulométrica, forma das partículas e presença de impurezas, implicará na alteração do desempenho da argamassa resultante.

### 2.1.3 Aditivos Poliméricos

Os polímeros são utilizados em argamassas e concretos com finalidade de alterar algumas de suas propriedades, como retenção de água, permeabilidade, adesividade, trabalhabilidade, elasticidade, resistência química e resistências mecânicas. Estas alterações acontecem devido à interação proporcionada entre os polímeros e o cimento durante todo o processo de hidratação, a qual depende inteiramente do tipo de polímero utilizado, sendo que existem diferentes mecanismos de ação na fase aquosa e distintos processos de polimerização (LAVELLE, 1988; OHAMA, 1998).

São diversos os polímeros que podem ser utilizados em misturas a base de cimento. Porém os aditivos mais utilizados pelas indústrias de argamassas colantes são os polímeros celulósicos (solúveis em água) e os vinílicos (pós redispersíveis) (SILVA *et al*, 2001).

Esses polímeros empregados na confecção de argamassas colantes são aditivos tensoativos, que consistem essencialmente de moléculas orgânicas de cadeia longa, com uma extremidade hidrófila (que atrai a água) e uma hidrófoba (que repele a água). Os tensoativos são adsorvidos nas interfaces ar-água e cimento-água com uma orientação da molécula que determina se o efeito predominante é de incorporação de ar ou de fluidificação do sistema água-cimento (Figura 1).

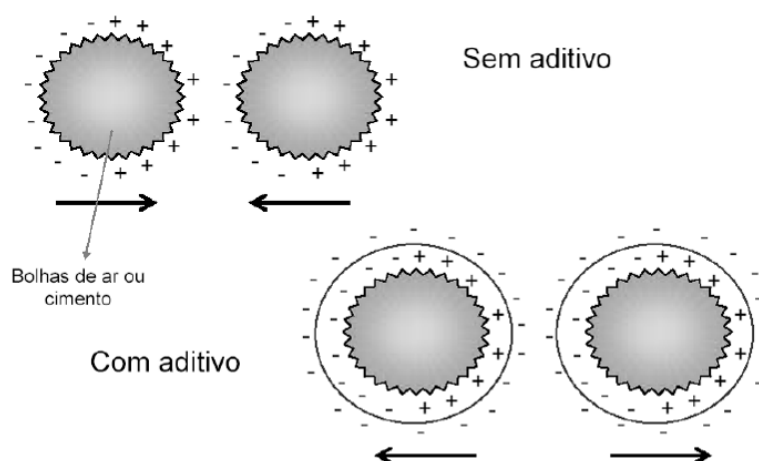


Figura 1 - Esquema do efeito de aditivos tensoativos sobre uma partícula imersa no meio aquoso (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

#### 2.1.3.1 Polímeros celulósicos

A celulose é o composto orgânico mais abundante no planeta sendo o principal componente estrutural das plantas conferindo-lhes rigidez e forma. Éteres de celulose são obtidos por alcalinização ou alquilação de celulose. Os éteres de celulose são polímeros semi-sintéticos com muitos grupos hidrofílicos que se ligam uns aos outros e aos quais as moléculas de água são adsorvidas por pontes de hidrogênio. Os éteres de celulose são empregados na produção de argamassas industrializadas, onde são adicionadas na mistura em relação à proporção de cimento entre 0,02-0,70% (POURCHEZ, 2006; PINTO, 2007).

O éter de celulose influencia as características da argamassa no estado fresco, por exemplo, comportamento reológico, teor de ar incorporado, retenção de água e a resistência ao deslizamento. Os polímeros redispersíveis são responsáveis pela flexibilidade e principalmente pela resistência de aderência, especialmente na condição de cura térmica (PÓVOAS, 1999; JENNI, 2005; BREA, 2007).

As soluções destes polímeros, como qualquer outro sistema real, apresentam um comportamento intermediário entre um sólido perfeito e um líquido ideal, ou seja, exibem comportamento viscoelástico. Desta forma os éteres de celulose influenciam diretamente no comportamento reológico das argamassas devido à desidratação parcial de uma solução aquosa que proporciona a formação de um gel, que pode absorver uma grande quantidade

de água, proporcionando um aumento de viscosidade da fase aquosa (SILVA et al., 2001; PATURAL et al., 2010). A forma de ação dos éteres de celulose ocorre segundo três etapas segundo OLIVEIRA (2004), sendo elas:

- As moléculas poliméricas adsorvem e fixam parte da água do sistema com expansão;
- As moléculas promovem o surgimento de forças atrativas entre moléculas próximas resultando na formação de um gel, processo chamado de associação;
- As cadeias poliméricas podem se entrelaçar, se houver grande concentração de polímero e baixa tensão cisalhante de mistura.

O éter de celulose é um polímero termoplástico formado por reações de eterificação modificando sua estrutura pela substituição de um ou mais dos três grupos hidroxila por grupos hidroxietil, por meio da reação entre álcali-celulose e óxido de etileno. Entre a ampla variedade de éteres de celulose existentes, quatro tipos são os mais empregados na produção de argamassas colantes: metilcelulose (MC), hidroxipropil-metil-celulose (HPMC), metil-hidroxietilcelulose (HEMC) e hidroxietilcelulose (HEC). A celulose é um carboidrato natural constituído por unidades repetidas de anidro-glicose, como mostrado na Figura 2 (PETIT, 2013).

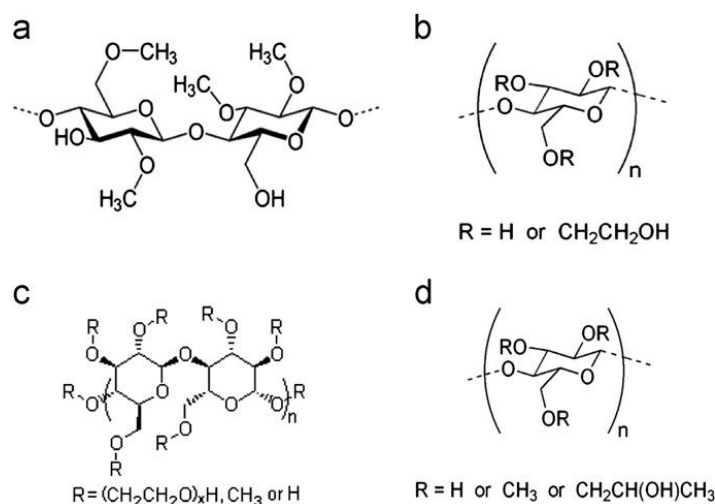


Figura 2 - Estrutura da celulose - (a) MC, (b) HEC, (c) HEMC, (d) HPMC (PETIT, 2013).

A estrutura da celulose é convenientemente tratada e purificada, podendo ser quimicamente modificada para dar lugar a derivados solúveis em água, como seus éteres. A unidade de repetição de anidro-glicose apresenta três hidroxilas passíveis de reação (substituição). O grau de substituição indica quantas dessas hidroxilas em média são substituídas por metoxilos, em cada unidade de anidro-glicose. A substituição molar representa as hidroxilas substituídas pelos radicais hidroxipropilas ou hidroxietilas (SILVA, 2001; BREA, 2009). A Figura 3 mostra o aspecto das partículas do pó de HEC observadas em MEV.

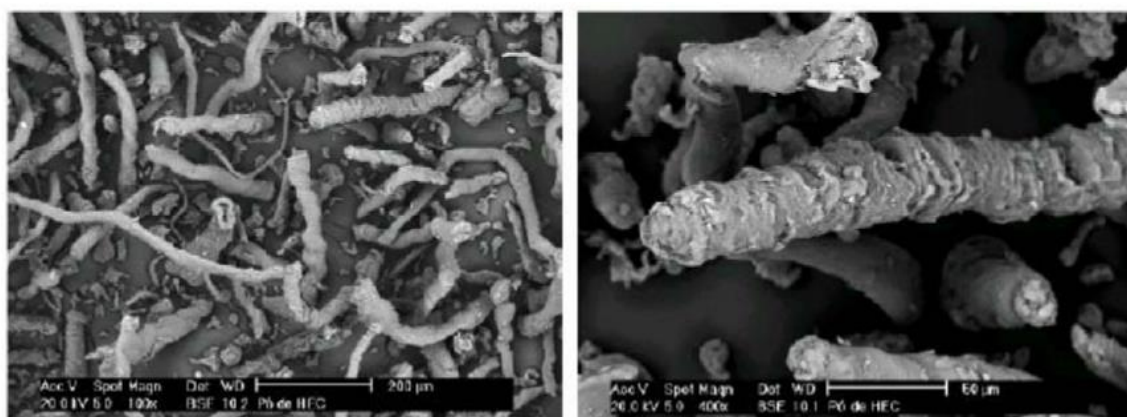


Figura 3 - Aspecto das partículas do pó de HEC em MEV (SILVA, 2001).

#### 2.1.3.2 *Polímero Redispersível*

Os polímeros redispersíveis em geral são macromoléculas obtidas pela combinação de um número imenso de moléculas pequenas (os “meros”) que repetidamente dão origem à longas cadeias. Os meros são espécies químicas orgânicas insaturadas derivadas do gás natural e da destilação fracionada do petróleo. A repetição pode ser linear quanto maior for a cadeia constituída por suas ligações, ou as cadeias podem ser ramificadas ou interligadas compondo redes tridimensionais. Sua unidade de repetição é geralmente equivalente ao monômero, ou do material inicial do qual é composto. O número de unidades de repetição na cadeia (grau de polimerização) determina o comprimento da cadeia polimérica e a sua massa molar é dada pelo produto entre a massa molar da unidade de repetição e o grau de polimerização (BILLMEYER 1985 apud CARBONE, 2012).



O polímero redispersível é definido como uma dispersão de micropartículas (0,05 e 5 µm de diâmetro) em um meio aquoso, podendo ser natural ou artificial. Os látices são sintetizados por reações de polimerização “quando constituídos por um só monômero” ou copolimerização “quando constituídos por mais de um monômero” (OHAMA, 1998).

Os polímeros redispersíveis mais predominantes utilizados em argamassas colantes são resultados de uma reação de copolimerização. No Brasil destaca-se o VAE – (copolímero de vinila acetato de etileno) – e o poli (acetato de vinila-versatato) (VAVeVa) (BETIOLI, 2007). O polímero redispersível utilizado neste trabalho é o copolímero VAE. A Figura 4 ilustra a estrutura química do polímero VAE.

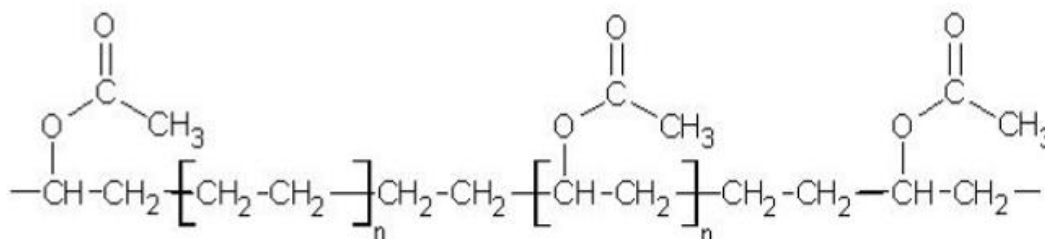


Figura 4 - Estrutura química do polímero VAE - vinila acetato de etileno (CARBONE, 2012).

O VAE é um polímero termoplástico “que a uma dada temperatura apresentam alta viscosidade e pode ser amolecido, o que permite a deformação. Isso acontece por possuir ligação química fraca (Van der Waals) entre as cadeias que assim podem ser facilmente rompidas com a introdução de calor” (OHAMA, 1998).

O processo de fabricação do polímero ocorre a partir de uma polimerização por emulsão seguida de um processo de secagem em um atomizador de partículas, que elimina a água transformando o polímero de VAE em pó. Durante o processo podem ser adicionados agentes para correção de pH e viscosidade, bactericidas, anti-espumantes, agentes de secagem, agentes que impedem anti-aglutinação das partículas (argila, sílica ou carbonato de cálcio), dentre outros (OHAMA, 1998).

Adicionando-se água ao VAE em pó, o mesmo se redispersa com a fragmentação das partículas, fazendo com que estas adquiram tamanhos menores da ordem de 1 – 10 µm,

isso ocorre devido à ação dos tensoativos utilizados no processo de emulsão e secagem. Em materiais à base de cimento, após esta redispersão, inicia-se o processo de hidratação do cimento e a saída de água do sistema, havendo diminuição do espaço intersticial e a coalescência das partículas do polímero, formando, então, um película polimérica contínua (OHAMA, 1998; SILVA *et al*, 2001; MANSUR, 2007).

### 2.1.3.3 Formação da película polimérica

A formação da película se inicia quando a água evapora, as partículas têm energia o suficiente para superar as forças de repulsão e a tensão interfacial água - ar, fazendo com que as forças capilares e resistência à deformação atuem sobre as partículas aproximando-as, esse processo é conhecido como movimento Browniano. Quando a força de capilaridade é superior que à força de resistência à deformação, ocorre a formação da película (BEELDENS *et al.*, 2003; DRAGNESKI e DONALD, 2008; CARBONE, 2012). A Figura 5 apresenta esquematicamente os estágios de formação da película polimérica.

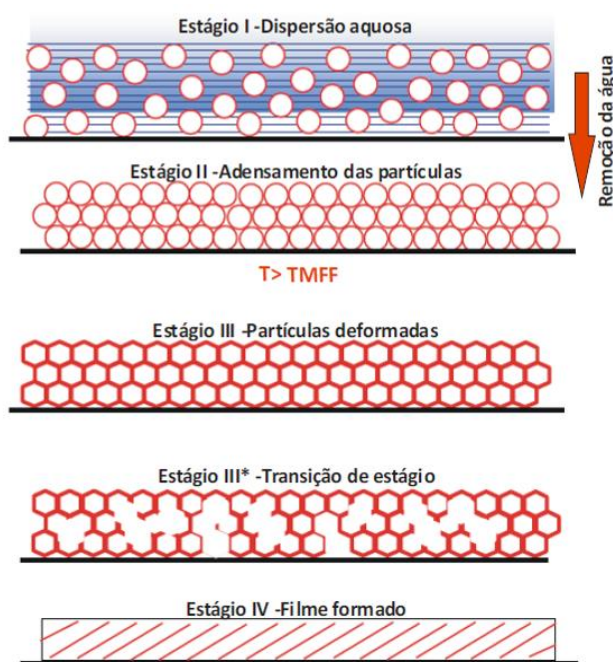


Figura 5 - Esquema dos estágios de formação da película polimérico (GRETZ *et al.*, 2011 apud CARBONE, 2012).

A formação da película contínua pode ser influenciada por tais fatores, como:

- Temperatura da transição vítrea ( $T_g$ ): Temperatura na qual o látex passa do estado vítreo ou quebradiço para o estado dúctil, em que as cadeias poliméricas estão desordenadas e possuem maior mobilidade. Essa mobilidade da origem a maior ou menor elasticidade, afetará as propriedades do película formado.
- Temperatura mínima de formação de película (TMFF): abaixo da qual a película não é obtida de forma apropriada, onde forma-se um película descontínuo e friável ou apenas a compactação do pó. A TMFF depende da composição e da temperatura da transição vítrea ( $T_g$ ).

AFRIDI *et al.* (2003) observaram o desenvolvimento da película polimérica por coalescência dos polímeros pós redispersíveis com base em imagens MEV em argamassas modificadas com VAE, às quais apresentaram película polimérica com estrutura densa e superfície lisa (Figura 6). Na Figura 6 nota-se que a formação de película contínua parece entrelaçar os hidratos de cimento e grãos de areia, mantendo, assim, os componentes de argamassa mais compactos, simultaneamente fazendo interconexões elásticas preenchendo ou reforçando os poros capilares e as cavidades no interior da argamassa. Com isso, tornou-se possível observar que a película polimérica proporciona uma ação de apoio no sistema para a transmissão de forças, reduzindo a propagação de microfissuras e aumentando a resistência à tração e a tenacidade, contribuindo para maior durabilidade do sistema.

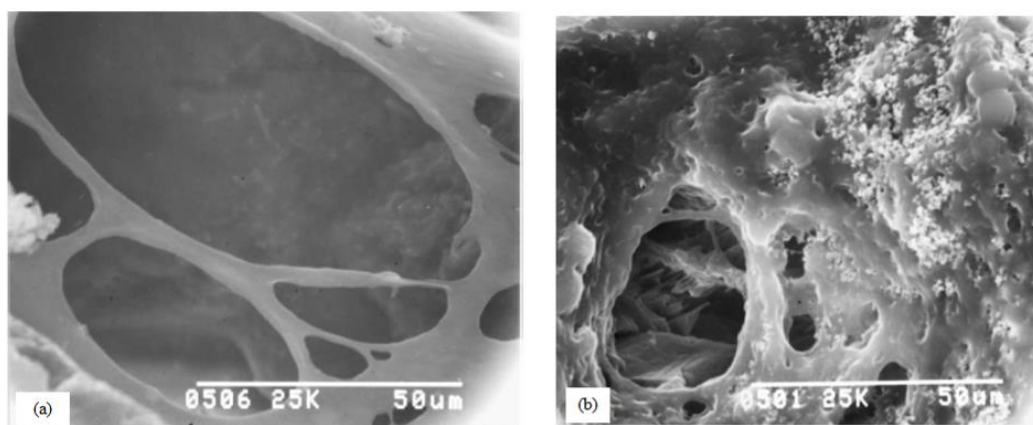


Figura 6 - (a) Estrutura densa da película polimérica VAE (b) Interconexões elásticas da película polimérica VAE (AFRIDI *et al.*, 2003).

Outro fator observado pelos autores, é que a formação da película polimérica é muito importante na resistência de aderência das argamassas com peças de baixa absorção, como no caso do porcelanato, visto que nesse caso a pasta de cimento da argamassa não é succionada para dentro dos capilares superficiais proporcionando a “ancoragem mecânica”.

Dessa forma, ocorre a “ancoragem química” devida ao acúmulo de água na interface formando uma fina película, com efeito, parede, onde as partículas poliméricas encontram-se dispersas na fase aquosa, a formação da película polimérica acaba sendo mais intensa nessa região, pois com a secagem da água há a formação da película nessa interface com materiais de baixa absorção, o que garante a aderência do sistema. (Figura 7). (SILVA, 2001; MANSUR, 2009).

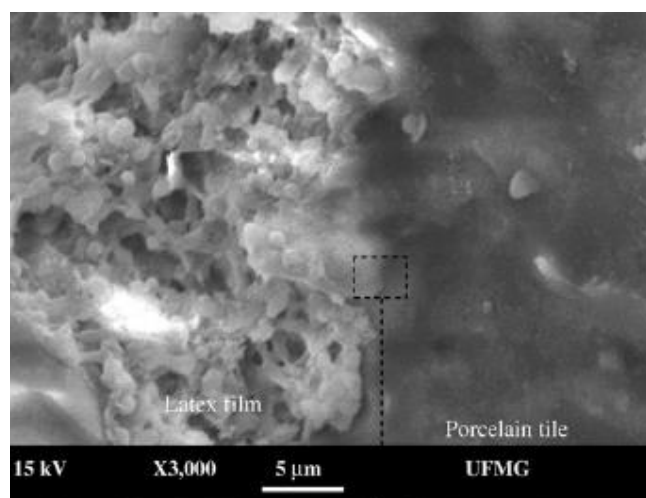


Figura 7 - Interface porcelanato/argamassa - ancoragem química (MANSUR, 2009).

Análises microscópicas realizadas por SILVA (2001) indicaram que a película polimérica concentra-se no sistema de vazios da argamassa endurecida. Os produtos de hidratação do cimento são envolvidos pela película, que se forma também em locais onde há maior concentração de água, como na interface pasta-agregado. Com isso, a microestrutura da argamassa apresenta uma baixa permeabilidade devido à formação dessa película sobre as fases cimentícias, o qual preenche parcial ou totalmente os poros e vazios.

OHAMA (1998) observou uma redução no desempenho das argamassas modificadas com polímeros quando em estado saturado, devido à degradação da película

polimérica quando em condições imersas. No entanto, JENNI (2006) confirmou essa perda de aderência nas argamassas colantes submetidas em condições imersas principalmente para sistemas com placas cerâmicas de baixa absorção, como o porcelanato, a ruptura ocorre facilmente na interface da argamassa/placa, como visto anteriormente, a maior aderência se dá justamente pela formação da película, uma vez que a mesma é comprometido e sua aderência é consequentemente prejudicada.

Contudo, nota-se que a utilização de polímeros redispersíveis na composição de argamassas colantes é de extrema importância para modificar suas propriedades tanto no estado fresco como no estado endurecido, aumentando a durabilidade e a vida útil dos sistemas de revestimento cerâmico. Para peças com baixa absorção, essa utilização de polímeros como o VAE é indispensável para que o sistema apresente maior capacidade adesiva.

## **2.2 Hidratação de Pastas de Cimento Aditivadas**

De um modo geral, o cimento pode ser considerado como um produto comercializado na forma de partículas com dimensões entre 1 e 90  $\mu\text{m}$ , que apresentam propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água e é capaz de unir fragmentos de minerais entre si, de modo a formar um sólido denso e resistente (TAYLOR, 1997).

O cimento age como ligante na formulação das argamassas colantes, devido suas reações químicas no processo de hidratação, proporcionando aderência mecânica ao sistema de revestimento cerâmico (KUDO, 2012).

Para a modificação de argamassas, diversos são os tipos de aditivos poliméricos disponíveis e utilizados para sua produção. No entanto, verificou-se, principalmente, o uso dos polímeros solúveis em água como, os éteres de celulose e o poli(álcool vinílico) (PVA), bem como, os polímeros em pó redispersíveis como os poli(acetato de vinila) (PVAc), poli(etileno-co-acetato de vinila) (VAE), poli(estireno-co-butadieno) (SBR), poli(estireno-acrílico) (PEA), poli(acetato de vinila-co-versatato de vinila) (VA/VeoA) e poli(etileno-teracetato de vinila-ter-cloreto de vinila) (VAEVC) (OHAMA, 1998; JENNI et al., 2005).

As interações entre os polímeros utilizados e o cimento são descritos por duas teorias. Alguns pesquisadores defendem que as interações ocorrem por meio de interação física, onde as argamassas modificadas com polímeros apresentam uma co-matriz monolítica na qual a matriz polimérica e a matriz do cimento hidratado estão homogeneizadas. Suas propriedades dependem, então, dessa co-matriz, que se caracteriza por uma estrutura de rede na qual a fase hidratada do cimento e a fase polimérica interpenetram-se, vindo a reunir os agregados em uma massa única (OHAMA, 1984; SAKAI *et al*, 1995).

A segunda teoria afirma que, além da interação física, existe também a interação química das partículas de polímeros reativos com o cimento em hidratação, resultando na formação de compostos complexos e na modificação da composição e morfologia das fases hidratadas. As reações químicas podem acontecer entre a superfície de partículas poliméricas reativas e íons ou superfícies de fases sólidas do cimento hidratado (OHAMA, 1998).

OHAMA (1998) propôs um modelo básico sobre a interação das partículas de polímeros (látex) com as partículas de cimento, bem como, as diversas influências entre o polímero e a hidratação do cimento, esse modelo foi refinado por BEELDENS *et al.*, 2003. Segundo este modelo, a hidratação pode ser dividida em quatro etapas:

**a) Primeira Etapa:** chamada de pré-indução, logo quando o material anidro entra em contato com a água, as partículas de cimento e as partículas poliméricas estão dispersas na água. O polímero atua como plastificante da mistura, defloculando os grãos de cimento e aumentando a área específica de contato entre cimento e água. Inicia-se a hidratação do cimento, resultando em uma solução alcalina nos poros (BEELDENS *et al.*, 2003).

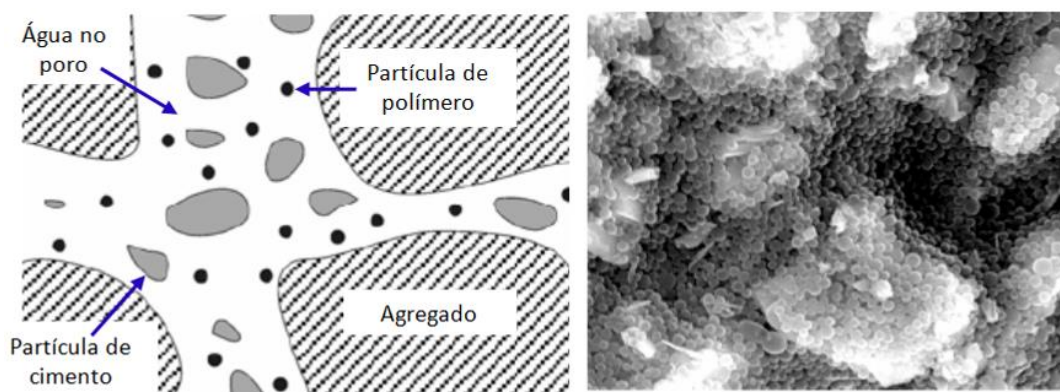


Figura 8 - Primeira Etapa: após a mistura com a água pequenas agulhas de etringita são formadas (BEELDENS et al., 2003).

**b) Segunda Etapa:** Uma parte das partículas poliméricas é depositada na superfície dos grãos de cimento e agregados. Parte dos polímeros podem se agregar formando uma película contínua preferencialmente os depositados sobre a superfície dos grãos de cimento onde forças extras são exercidas nas partículas poliméricas devido à extração da água para a hidratação do cimento. Essa película polimérica pode parcialmente ou completamente englobar os grãos de cimento provocando em retardo ou até mesmo interrupção da hidratação do grão de cimento (BEELDENS et al., 2003).

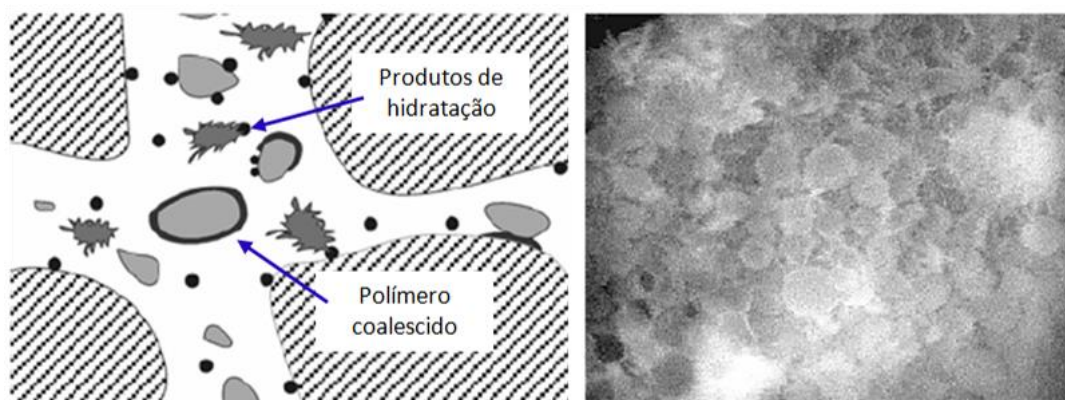


Figura 9 - Segunda Etapa: após a mistura, as partículas de polímero interagem com as partículas de cimento e dos agregados. No caso de cura seca, ocorre a formação da película polimérica em torno dos grãos (BEELDENS et al, 2003).

**c) Terceira Etapa:** Esta etapa abrange a hidratação do cimento, a floculação do polímero e a coalescência do polímero formando a película. Os processos que ocorrem nesta etapa estão relacionados com as condições de cura. Se não houver período de cura



seca, a formação global da película é retardada e a sua influência nas propriedades da mistura é limitada. Se a cura seca ocorre, a formação da película polimérica acontece influenciando a hidratação do cimento e o desenvolvimento das resistências nas primeiras idades (BEELDENS et al., 2003).

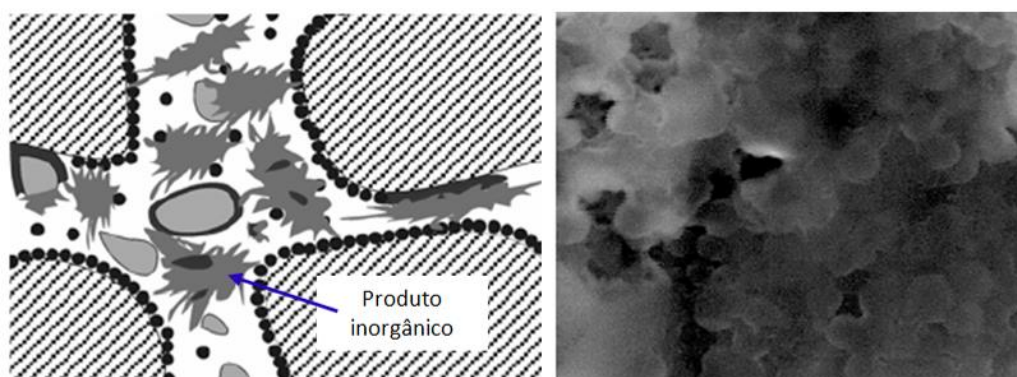


Figura 10 - Terceira Etapa: A hidratação do cimento continua, a formação da película polimérica começa em alguns pontos específicos - partículas poliméricas se unem para formar uma película contínua (BEELDENS, et al., 2003).

**d) Quarta Etapa:** Nesta etapa final ainda sustentam a hidratação e a formação final da película polimérica. Com os compostos hidratados forma-se uma película contínua enquanto a água vai sendo retirada dos poros capilares. A quantidade dos polímeros que ainda está presente na dispersão fica limitada aos poros capilares e na interface entre os agregados e a fase inorgânico-orgânica precipitada. E esta quantidade que contribui para a maior parte do desenvolvimento das propriedades elásticas e de resistências finais (BEELDENS et al., 2003).



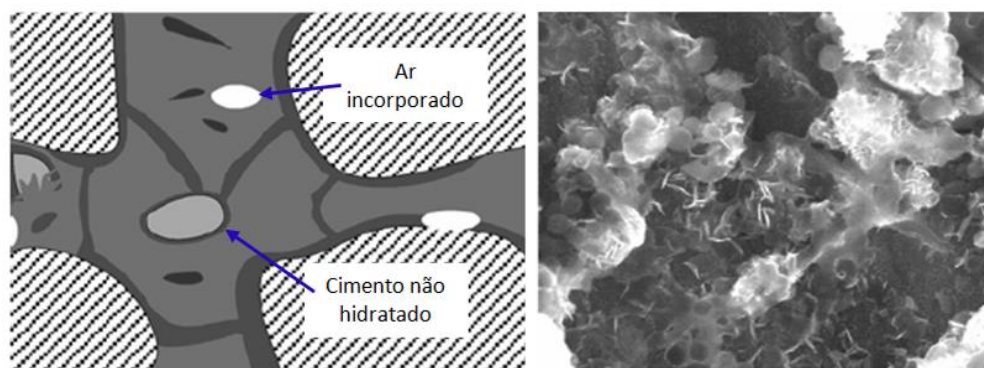


Figura 11 - Etapa Final: Continua a hidratação do cimento, as partículas de polímero se aglutinam em uma película contínua de cimento - partículas de cimento são hidratadas (BEELDENS, *et al.*, 2003).

Assim como BEELDENS *et al.*, (2003), SILVA *et al.*, (2005) também apresentam estudos realizados com pastas de cimento onde é adicionado o polímero solúvel em água HEC (Hidroxidoetilcelulose) e o copolímero pó redispersível VAE (vinila acetato de etileno). Esses polímeros são comumente utilizados nas produções de argamassas colantes, alterando a cinética da hidratação do cimento, modificando a fase aquosa e melhorando o desempenho no estado endurecido das argamassas.

No entanto, foi observado por SILVA *et al.* (2005) que o copolímero VAE (vinila acetato de etileno) retarda a formação de fases hidratadas do  $C_3S$  até, pelo menos, uma hora depois do contato com água. Enquanto o éter de celulose HEC apenas influencia no retardo da pasta de cimento com a presença do VAE, o que implica dizer que a sua maior interatividade está na fase aquosa e que a retenção de água que o polímero provoca no sistema assegura maior hidratação aos grãos de cimento.

Analisando a microestrutura de pastas aditivadas com polímeros SILVA *et al.*, (2005), observou-se que o VAE tem maior interferência na hidratação do  $C_3A$  do que na hidratação do  $C_3S$ . Com o VAE presente no sistema, não se observa a formação de cristais de etringita na superfície do aluminato de cálcio. Porém, verificou-se a formação gradativa de uma nuvem de pequenas partículas semitransparentes em torno dos grãos de  $C_3A$ . Mesmo depois de 2 horas da mistura dos materiais sólidos com a solução saturada, não foi observado o desenvolvimento de qualquer cristal de etringita. Sendo possível verificar a comparação nas imagens das Figuras 12 e 13.

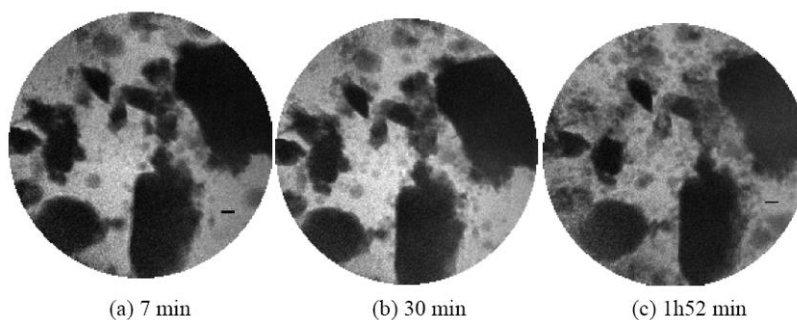


Figura 12 - Partículas de  $C_3A$  hidratando na presença de VAE (SILVA *et al.*, 2005).

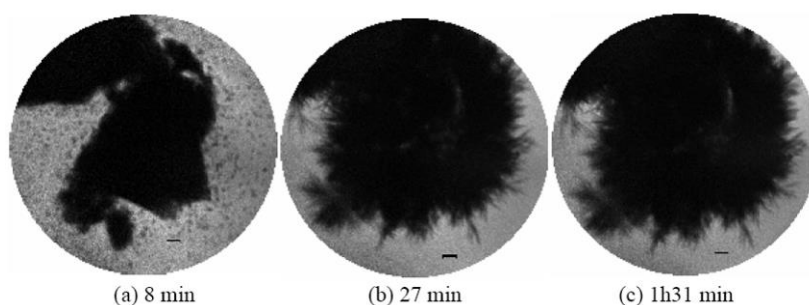


Figura 13 - Partículas de  $C_3A$  hidratando em solução saturada de hidróxido de cálcio (SILVA *et al.*, 2005).

Na amostra de  $C_3A$ , o VAE impede a formação dos cristais de etringita, e resulta na formação de uma nuvem de pequenas partículas de baixo contraste com a solução em torno dos grãos em hidratação. Estas pequenas partículas podem conter os grupos acetato liberados na hidrólise alcalina do VAE, e íons metálicos provenientes da dissolução dos grãos cimentícios. A maior afinidade de reação com o alumínio pode explicar o aparente maior efeito do VAE na hidratação do  $C_3A$  do que na amostra de  $C_3S$  (SILVA *et al.*, 2005).

A Figura 14 permite analisar os efeitos do éter de celulose na hidratação das fases cimentícias. No sistema com  $C_3S$ , o polímero afeta a cinética da hidratação do cimento, retardando-a. O éter de celulose dificultou completamente o desenvolvimento de etringita no sistema com  $C_3A$ . Ao contrário, houve a formação gradativa de inúmeros glóbulos que se concentraram em torno das partículas de  $C_3A$  em hidratação, indicando que há, provavelmente, interação química entre o polímero e a solução saturada e/ou os íons dissolvidos do  $C_3A$ . Esta mesma configuração foi observada em diversas outras localizações de várias amostras de  $C_3A$  e HPMC (SILVA *et al.*, 2005).

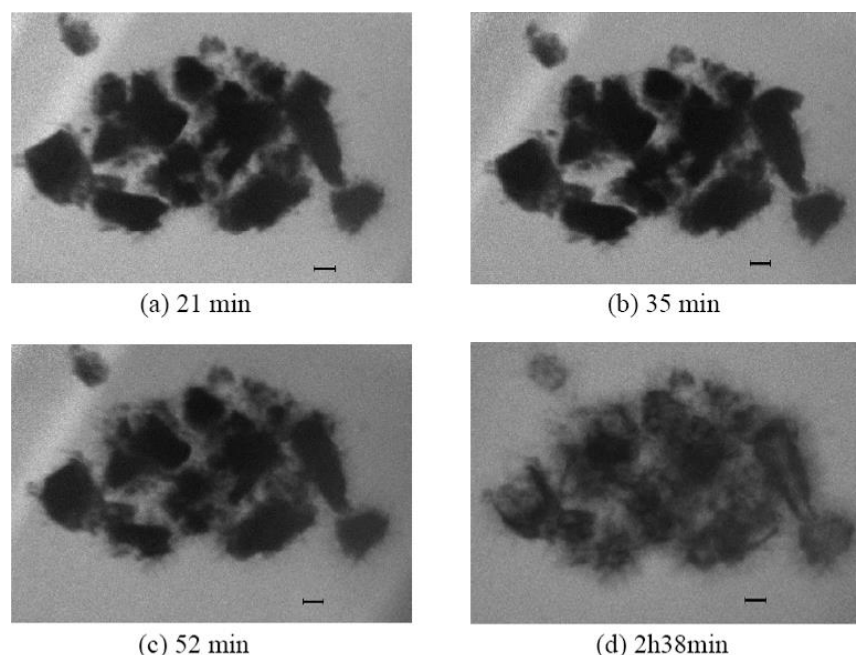


Figura 14 - Partículas de  $C_3S$  hidratando em solução saturada contendo HPMC (SILVA *et al.*, 2005)

Imagens microscópicas mostraram que os polímeros alteram a hidratação das fases de  $C_3S$  e  $C_3A$  do cimento a partir dos primeiros minutos após a mistura. Além disso, retarda a formação de hidratos na superfície dos grãos de  $C_3S$  em hidratação, ele aparenta causar, por outro lado, a nucleação de fases hidratadas na sua superfície a partir da solução. Esse efeito também influencia no processo de hidratação, e pode ser concorrente com o retardo observado na superfície dos grãos de  $C_3S$  (POURCHEZ, 2006; SILVA *et al.*, 2005).

O copolímero VAE reduz o hidróxido de cálcio na pasta de cimento, devido à interação química entre os íons  $Ca^{2+}$  e ânions de acetato, liberado em hidrólise alcalina do VAE. Esta interação química diminui a flexibilidade do VAE que provavelmente fornece o aumento do módulo de elasticidade dos materiais cimentícios (BETIOLI *et al.*, 2009).

A interação desses polímeros na hidratação do cimento dentro da composição das argamassas colantes é indispensável para que certas propriedades sejam alcançadas. A argamassa é aplicada em camadas finas, portanto é muito importante a função do éter de celulose em reter água no sistema por mais tempo para garantir que essa fina camada não perca a adesividade desejada.

O retardo de pega do cimento influenciado pelos éteres de celulose contribui para que a argamassa não seque e perca trabalhabilidade rapidamente, permitindo maior tempo em aberto das argamassas. Além disso, se assegura maior hidratação nas partículas de cimento, uma vez que existe a perda de água por evaporação e por sucção em camadas extremamente finas, o que pode prejudicar a resistência de aderência nas interfaces (argamassa/substrato ou argamassa/cerâmica). A adição do éter de celulose permite à argamassa garantia de suas propriedades tanto no estado fresco como no endurecido.

A adição de pós redispersíveis em materiais cimentícios promove a formação de uma película polimérica que interage na microestrutura desses materiais, como no caso de microfissuras na pasta e na zona de transição, interface entre agregado/pasta. Essa película polimérica atua como uma ponte, costurando essas microfissuras, proporcionando maior resistência à compressão, maior aderência e flexibilidade aos materiais. No caso das argamassas colantes, a adição de pós redispersíveis contribui de forma muito significativa para que as argamassas apresentem bom desempenho no estado endurecido, principalmente maior durabilidade.

### **2.3 Influência da temperatura na hidratação de pastas de cimento Portland**

É necessário verificar o efeito da temperatura na hidratação do cimento, pois as argamassas colantes são submetidas à cura térmica, segundo a NBR 14081-4 (2012). A temperatura não influencia a resistência inicial, pois a argamassa é levada a cura em estufa após os 14 dias de aplicação, mas pode prejudicar no desempenho final do sistema de revestimento, pois é observado na prática de laboratório que as argamassas tendem a perder resistência de aderência após serem expostas à cura térmica (14 dias em estufa a uma temperatura de 70°C).

O sistema de revestimento cerâmico sofre variações de temperatura quando aplicados em obra, uma vez que esses sistemas são aplicados externamente, logo são submetidos aos efeitos das intempéries, tais como, sol, vento, chuva, variação de temperatura. As curas determinadas por normas simulam as mais críticas condições de exposição, mas não a condição real de exposição desse sistema. É importante entender

quais são os efeitos da temperatura na hidratação do cimento, sabendo que o cimento tem grande influência no desempenho das argamassas. Dessa forma, foi buscada na literatura alguma relação sobre a influência da temperatura na hidratação do cimento.

KJELLEN et al., (1990) avaliaram através de análise microscópica pastas de cimento hidratado que foram submetidos a diferentes temperaturas, (5°C e 50°C). Observou-se que a pasta de cimento com o fator a/c: 0,5 submetida a uma cura de 50°C por 10 dias atingiu 70% de hidratação, não se observou cristais de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  na estrutura dos poros, e apresentou C-S-H de baixa densidade. Notou-se que quando pastas cimento são expostas a elevada temperatura, pode haver perda das fases de hidratação, e prejudicar as propriedades do cimento.

A temperatura da cura desempenha claramente um papel importante na determinação da estrutura dos poros da pasta de cimento hidratado. Para as pastas com a mesma relação a/c 0,5 curadas a temperatura de 5 e 20° C apresentaram o mesmo grau de hidratação, já para as pastas curadas a 50° C apresentou maior porosidade na estrutura da pasta. A diferença em volume dos poros parece ser principalmente do volume de poros maiores. Este resultado implica na durabilidade do concreto, considerando que quanto maior a porosidade da pasta, maior é a permeabilidade da mesma e menor será a durabilidade. A permeabilidade é um fator relevante para a durabilidade do concreto, estes resultados mostram que altas temperaturas de cura pode reduzir a durabilidade do concreto (KJELLEN *et al.*, 1990).

Analisando a microestrutura desses materiais foi observado pelo autor que aos 40 e 50° C, a formação de C-S-H é menos densa e há uma distribuição mais heterogênea dos produtos hidratados, uma porosidade maior, e uma diminuição na quantidade de etringita, bem como, a formação de agulhas de etringita muito curtas. Além disso, aos 50° C formou-se monossulfoaluminato e a quantidade de cálcio presente no monocarboaluminato parece diminuir. Ou seja, a temperatura altera significativamente os compostos de hidratação do cimento, a estrutura dos poros da pasta e o desempenho final do material cimentício (KJELLEN *et al.*, 1990).

O efeito da cura térmica do cimento também foi investigado por PAUL e GLASSER (2000), que estudaram a cura do cimento por um ano nas temperaturas de 23°C, 50°C, 75°C e 100°C e observaram por meio de análises de DRX que na medida em que as temperaturas aumentavam, a formação de etringita e a gipsita eram reduzidas, e a 100°C desapareciam, exceto no caso de cimento com cinza, em que havia adição de alumínio, cálcio e sílica que contribuíam para a formação do monossulfato. Esse estudo possibilitou os autores a concluir que o cimento ganha resistência nas idades iniciais quando submetidos à cura térmica, devido à aceleração das reações químicas do clínquer. Portanto, quando essa cura é prolongada, nesse caso foi por um ano, o cimento começa a perder resistência devido às elevadas temperaturas que faz com que a formação de etringita desapareça da matriz cimentícia.

Foi analisado o impacto da cura térmica prolongada no cimento Portland, e observaram que o cimento submetido à cura de 20°C, por um período de 28 dias até 8 anos não apresentou mudança na mineralogia e microestrutura da matriz, apenas um pouco de clínquer não hidratado. Portanto, uma cura prolongada de 85°C altera significativamente a mineralogia e microestrutura da matriz, pois apresentam poucos cristais de etringita e alta porosidade na pasta de cimento, o que consequentemente resulta em um cimento de baixa resistência mecânica (PAUL et al., 2000).

LOTHENBACH *et al.*, (2007), realizaram um estudo similar ao de KJELLENSEN et al., (1990), no qual foi verificado o efeito da temperatura sobre os produtos de hidratação do cimento há 5 e 40°C. Porém Lothenbach notou que o aumento da temperatura ocasiona uma hidratação inicialmente rápida e uma elevada resistência à compressão inicial, porém ao longo do período de cura essa resistência tende a ser menor do que argamassas e concretos curados em baixas temperaturas (5 e 20°C), conforme ilustra os resultados na Figura 15.

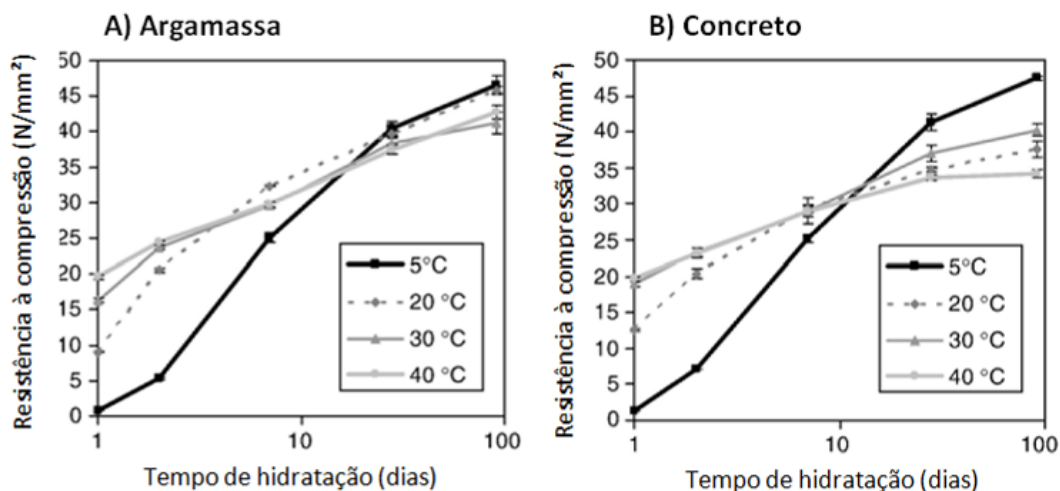


Figura 15 – O efeito da temperatura nos resultados de resistência à compressão de argamassas e concretos (LOTENBACH et al, 2007).

GALLUCI *et al.*, (2013) observaram as modificações ocorridas no C-S-H quando induzido a cura isotérmica entre 5 e 60° C. Os resultados mostraram que conforme se aumentou a temperatura (dentro do intervalo estudado) apresentaram-se produtos hidratados mais ásperos e menos homogeneamente distribuídas na matriz, esses produtos tendem a se concentrar em torno dos locais de origem dos grãos anidros, especialmente a 60° C. Isto por sua vez, conduz quantidades muitas mais elevadas e tamanhas de poros capilares, conforme pode ser observado nas Figuras 16a, 16b e 17, nas quais está indicado que a porosidade capilar observada por análise de imagem está maior a temperaturas mais elevadas para o mesmo grau de hidratação.

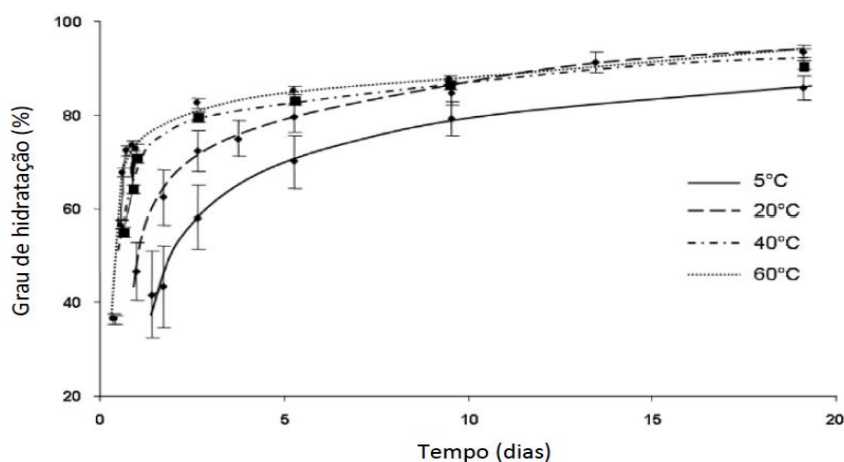


Figura 16 – a) Grau de hidratação analisada por imagem de SEM (GALLUCI *et al.*, 2013)

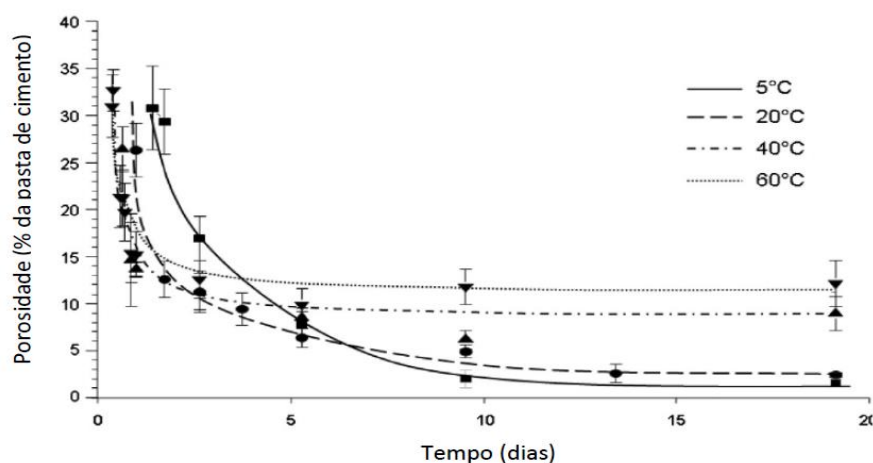


Figura 17 – b) Porosidade capilar analisada por imagem de SEM (GALLUCI *et al.*, 2013).

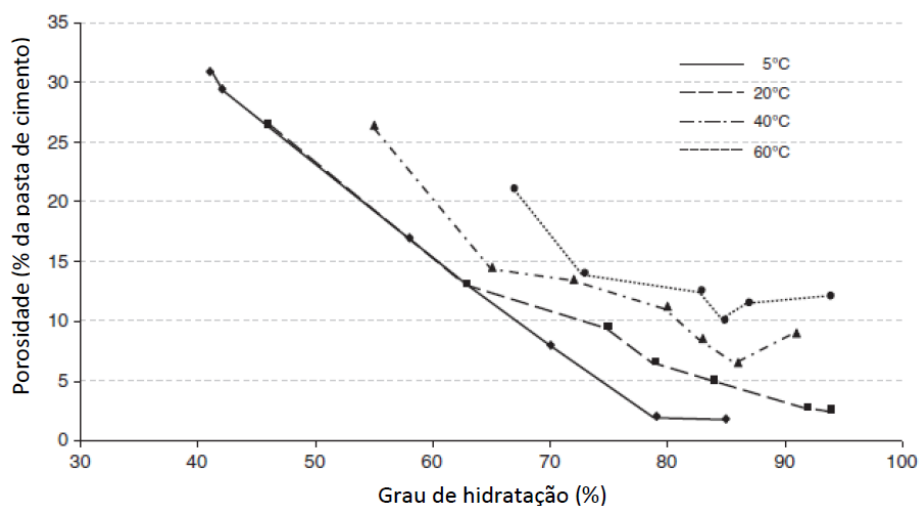


Figura 18 - O efeito da temperatura sobre a quantidade de porosidade capilar, de pastas curadas isotermicamente (GALLUCI *et al.*, 2013).

Os dados apresentados nesse estudo mostram que o C-S-H é altamente sensível à temperatura e que sua densidade aparente aumenta continuamente com a temperatura de 5 a 60° C. Este aumento expressivo significa que menos espaço é preenchido pelo C-S-H na pasta, resultando em uma porosidade capilar muito maior, que conseqüentemente tem um impacto prejudicial sobre as propriedades mecânicas e durabilidade de materiais cimentícios curados a alta temperatura (GALLUCI *et al.*, 2013).

Com alguns dados obtidos na literatura descritas nesse item, nota-se o efeito da temperatura na hidratação do cimento onde a microestrutura da matriz é significativamente



alterada conforme sua exposição. O fator predominante em questão é alta porosidade na matriz observada por todos os autores, causada pela baixa densidade na matriz, bem como, compostos hidratados do cimento não totalmente formados ou prejudicados pela temperatura. Essa alteração na microestrutura da matriz compromete a resistência mecânica do cimento, influenciando no desempenho e na durabilidade dos materiais cimentícios.

## **2.4 Influência dos polímeros nas propriedades das argamassas colantes**

As pequenas quantidades de polímeros adicionadas às argamassas colantes aumentam a viscosidade da fase aquosa e a capacidade de retenção de água da argamassa, devido à formação de uma película de polímeros muito fina e impermeável. Os polímeros possuem a propriedade de alterar o comportamento reológico de soluções e formulações a base de água, juntamente com as bolhas de ar que incorporam durante a mistura, atuam no sentido de promover um deslizamento entre as demais partículas da argamassa, melhorando assim a trabalhabilidade (RUOT, POURCHEZ, et al., 2007; PATURAL et al., 2010).

Os polímeros promovem alterações na microestrutura das argamassas colantes, essas modificações na microestrutura estão relacionadas com a resistência de aderência que a argamassa irá proporcionar entre suas interfaces (argamassa/revestimento cerâmico e argamassa/substrato), influenciando diretamente na durabilidade do sistema de revestimento cerâmico (OLIVEIRA, 2004; JENNI, 2005).

De um modo geral, os polímeros são comumente empregados em misturas à base de cimento com intuito de promover alterações qualitativas no seu desempenho; adesividade, consistência; trabalhabilidade; tempo em aberto; resistência ao deslizamento; retenção de água e resistência de aderência. Essas alterações estão diretamente relacionadas conforme a proporção à massa molecular do polímero. Como as moléculas de água são adsorvidas nos grupos hidrofílicos do polímero e ficam aprisionadas na estrutura de gel criada em solução aquosa sua mobilidade é limitada, o que confere alta retenção de água em argamassas e concretos que contenham este aditivo, bem como retardo na cinética da hidratação do cimento (OHAMA, 1984; SILVA, 2001; RUOT, POURCHEZ, et al., 2007; PATURAL, 2010).

### 2.4.1 Éteres de celulose

Os éteres de celulose proporcionam melhorias nas características finais da resistência internas das argamassas. Devido sua capacidade de aumentar a retenção de água, se torna possível a aplicação da argamassa em camada fina, sem que a argamassa perca água em demasia para o substrato ou para o meio ambiente (sucção ou evaporação). A retenção de água proporcionada no sistema se deve basicamente à formação de um gel que envolve as partículas do cimento e promove uma melhor hidratação e, conseqüentemente, um melhor desempenho na resistência mecânica final (POURCHEZ, 2005).

A Tabela 1 apresenta a influência das propriedades do éter de celulose nas propriedades da argamassa no estado fresco.

Tabela 1 - Propriedades éter de celulose vs argamassa colante (BREA, 2009).

<b>Propriedade do éter de celulose</b>	<b>Propriedade da argamassa no estado fresco</b>
Reologia da solução aquosa	Consistência
Tensão superficial da solução aquosa	Densidade
Formação de película	Perda de molhabilidade
Adsorção sobre cimento	Retardo na cura do cimento

As reações entre a água e os vários componentes do cimento ocorrem durante as várias horas com o progresso da hidratação, acompanhadas de liberação de calor. A disponibilidade de água em qualquer parte na argamassa colante é essencial para a hidratação apropriada. No entanto, é comprovado por alguns autores que o éter de celulose retarda a cinética de hidratação do cimento (SILVA, 2001; BREA, 2003; POURCHEZ, 2005; WINNEFELD, 2012). A Figura 19 apresenta uma análise de calorimetria de argamassas colantes.

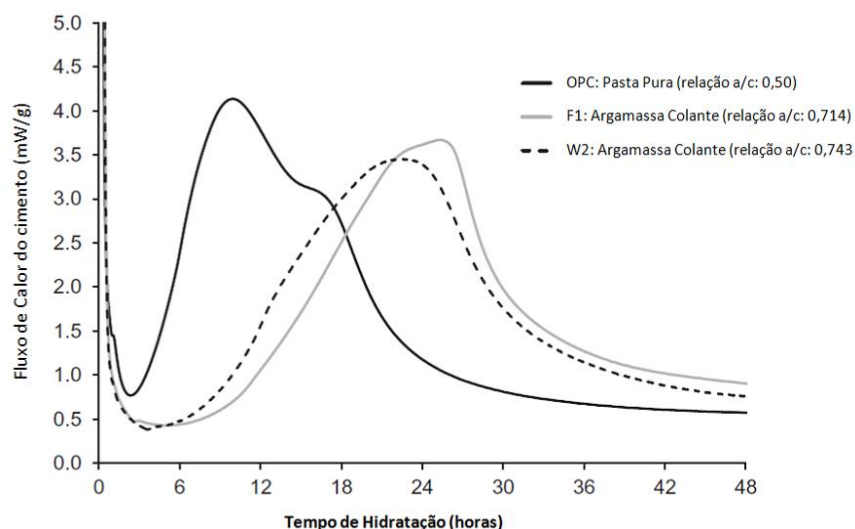


Figura 19 - Calor liberado na hidratação do cimento OPC: Pasta pura; F1: Argamassa colante com 0,4 de adição de metilcelulose; W2: Argamassa colante com 0,4 de adição de hidroxipropilmetilcelulose (WINNEFELD, 2012).

As argamassas colantes F1 e W2 foram formuladas com os mesmos teores de materiais, inclusive o pó redispersível, apenas na relação água/cimento houve alteração (F1 a/c: 0,714 e W2 a/c: 0,743), conforme o tipo de éteres de celulose. Observando a Figura 19, a curva de calorimetria da pasta pura (sem aditivo), atingiu seu maior pico de calor dentro de 8 horas após o contato com a água, já as argamassas com adição de polímeros apresentaram uma diferença de 13 horas comparadas com a pasta pura, para atingir seu maior pico de calor, ou seja, por análise de calorimetria observou-se uma alteração significativa na hidratação do cimento para materiais cimentícios modificados com polímeros (WINNEFELD, 2012).

Outro fator observado nesse estudo, é que o retardo na hidratação do cimento observado na análise de calorimetria contribuiu para que as argamassas colantes apresentassem maior tempo em aberto no estado fresco, ou seja, permite que o assentamento da peça sobreposta seja realizado por um período maior após a aplicação da argamassa no substrato, sem perder a adesão inicial. Na Figura 20 pode-se verificar o espalhamento e extensão de aderência da argamassa com a peça sobreposta.

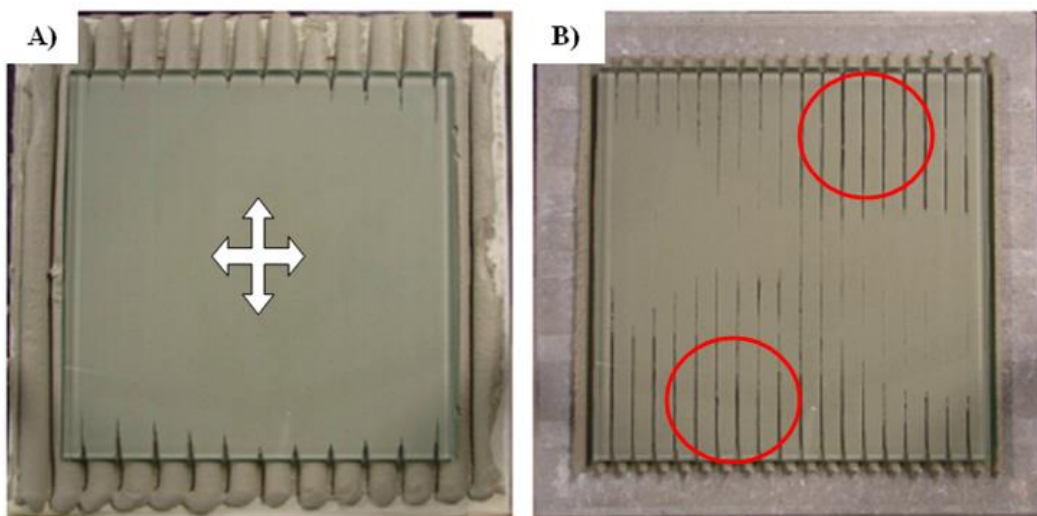


Figura 20 - A): 100% de adesividade entre a argamassa F1 e a peça sobreposta > tempo em aberto > resistência de aderência; B): Falta de adesividade da argamassa W2, prejudica a resistência de aderência nessa interface (Adaptado de WINNEFELD, 2012).

Na Figura 20-A é visível o espalhamento da argamassa F1 com a peça sobreposta, nota-se uma maior extensão de adesividade nessa interface. Já na Figura 20-B, nota-se que os cordões não se deformaram 100%, o que impediu maior espalhamento da argamassa W2 entre o substrato e a peça de vidro sobreposta. Esse contato entre a argamassa e a peça sobreposta também é influenciado pela formação da película polimérica, que depende do tipo e teor do éter de celulose na composição da argamassa, proporcionando maior ou menor contato da argamassa nessa interface.

WINNEFELD (2012) apresentou nesse mesmo estudo, o resultado de resistência de aderência à tração dessas duas argamassas F1 e W2, avaliado em diferentes condições de cura, e comparando valores de corpos de prova retirados de diferentes pontos de distância do centro da placa sobreposta (cerâmica 30x30 cm). A Figura 21 apresenta o método utilizado para avaliação da aderência das argamassas.

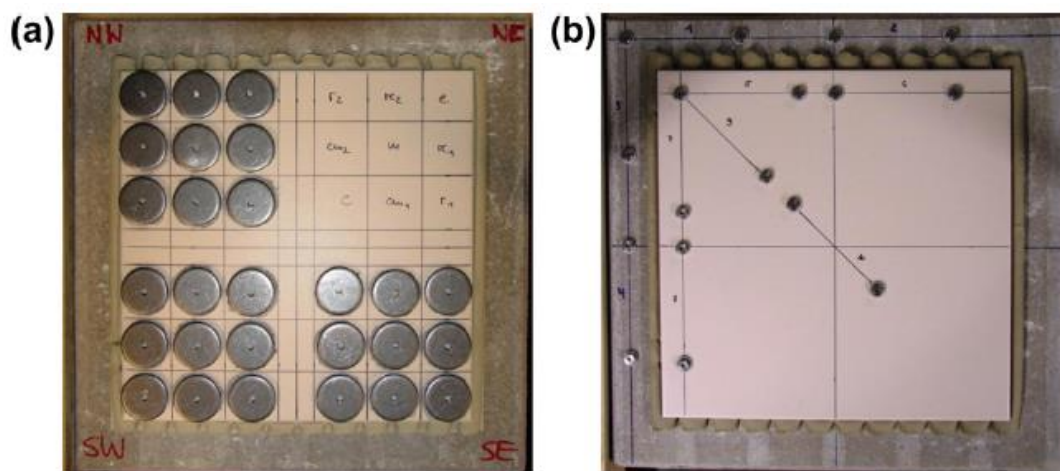


Figura 21 - Ensaio de resistência de aderência à tração - cerâmica 30x30 cm, corpos de prova de diversos pontos (WINNEFELD, 2012).

Os resultados de resistência de aderência obtidos são descritos na Figura 22.

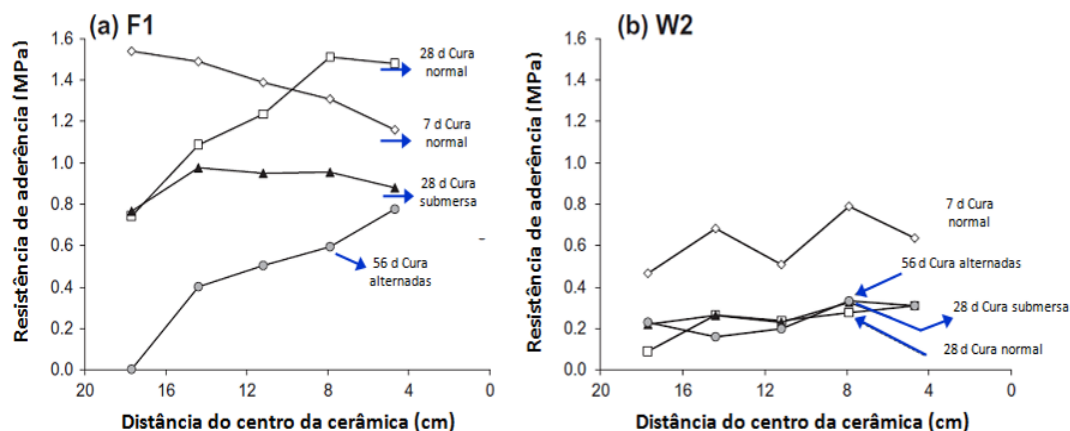


Figura 22 – Resistência de aderência das argamassas F1 e W2, dependendo da distância do centro da cerâmica e as condições de cura (WINNEFELD, 2012).

A Figura 22 mostra que a argamassa F1 apresentou valores significativamente altos comparados com a argamassa W2 para todos os pontos de distância do centro da cerâmica, bem como, as condições de cura. Essa diferença de desempenho deve ter sido influenciada pelo tipo de éter de celulose, já que a argamassa F1 utilizou um éter de celulose sem modificação, e a argamassa W2 utilizou um éter de celulose modificado, o que também alterou na relação a/c das argamassas, mas todos os demais componentes das argamassas se mantiveram constante.

Nesse estudo é possível observar que existe uma correlação nas Figuras 35 e 37, quanto maior o espalhamento da argamassa na peça sobreposta, melhor a resistência de aderência das argamassas, ou seja, o tempo em aberto no estado fresco influencia diretamente na aderência das argamassas no estado endurecido, expostas a diversas curas.

No entanto, nota-se que o tipo e o percentual do éter de celulose são os maiores influenciadores dessas características, determinando o desempenho das argamassas, bem como o grau de hidratação das argamassas.

#### 2.4.2 Polímero redispersível - VAE (vinila acetato de etileno)

O polímero VAE interage com os materiais constituintes desde os primeiros instantes da mistura com água. Esta interação influencia as propriedades no estado fresco e, conseqüentemente, proporciona maior flexibilidade e aderência no estado endurecido (SILVA, 2002).

O polímero VAE provoca a formação de um película polimérica sobre as partículas sobrepostas. Essa película polimérica tem a capacidade de alterar diversas propriedades das argamassas colantes especialmente no estado endurecido. Essa película normalmente sela parcialmente os vazios, cobre as partículas anidras e hidratadas do cimento e costura microfissuras. Em geral, tem-se uma melhor adesão, maior tenacidade à flexão, menor módulo de elasticidade e maior impermeabilidade (OHAMA, 1998; PÓVOAS, 1999; AFRIDI, 2003; MANSUR, 2007).

Para maiores teores de polímeros VAE, maiores serão esses efeitos nas argamassas resultando em maior resistência de aderência a substratos porosos como revestimentos cerâmicos, devido à formação na interface com esses materiais (SAKAI et al., 1995). Os polímeros vinílicos são responsáveis por aumento das resistências à tração e flexão, enquanto os polímeros solúveis em água (celulósicos) causam redução generalizada das resistências (OHAMA, 1984).

As experiências revelaram que o polímero VAE tem um papel crucial nas argamassas colantes, pois influencia diretamente na resistência de aderência da interface argamassa/cerâmica. Esse ganho de resistência está associado com o desenvolvimento de ligações de hidrogênio entre os grupos silanol da superfície do azulejo e sequências poli (álcool vinílico) hidrolisado a partir de VAE, além do aumento de ligações secundárias de van der Waals, devido à melhoria das características de argamassa na interface geralmente observada como uma consequência da adição de polímeros (MANSUR, 2009).

As Figuras abaixo (23 e 24) apresentam um esquema de tipo de aderência desenvolvida entre a interface da argamassa/peça cerâmica, dependendo da absorção (Abs) de água da cerâmica e a influência do polímero VAE (MANSUR, 2009).

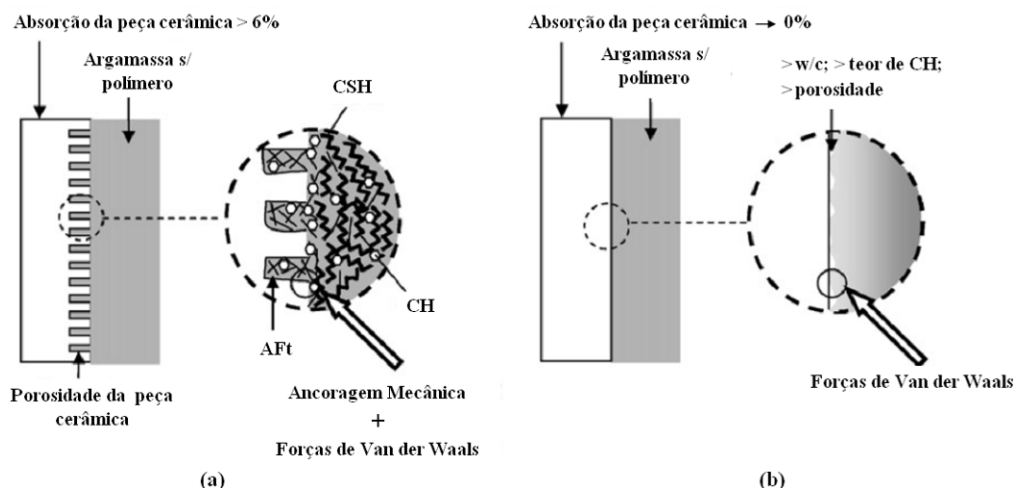


Figura 23 - Interface argamassa s/polímero VAE/cerâmica - (a) Abs > 6%; (b) Abs → 0%

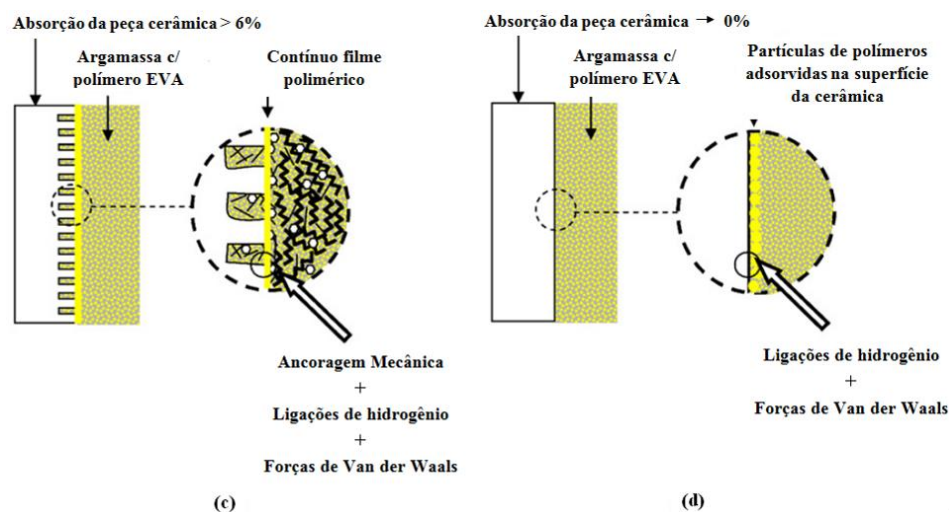


Figura 24 - Interface argamassa c/polímero VAE/cerâmica - (c) Abs > 6%; (d) Abs → 0%

JENNI (2005) afirma que as propriedades físicas dos materiais cimentícios são fortemente dependentes dos aspectos microestruturais, pois investigações microestruturais revelam que o copolímero é distribuído homogeneamente na matriz de argamassa, melhorando as propriedades de coesão e adesão das argamassas. A Tabela 2 apresenta a composição das formulações apresentadas nesse estudo.

Tabela 2 - Formulações das argamassas modificadas com polímeros (JENNI, 2005).

Formulação (%)	Composição da argamassa
35	Cimento Portland
40	Areia de Quartzo
22,5	Pó calcário
0,5	Éter de celulose (MHEC)
2	Pó redispersível:
	VC (vinil-acetato de etileno-copolímero de cloreto de vinilo).
	SA (copolímero acrílico de estireno).
	VAE (copolímero de vinila acetato de etileno): amostras de laboratório com diferentes composições de látex, contendo PVA, Elotex, Estação Sempach, CH.
25,5	Água deionizada.



A Figura 25 apresenta os resultados de resistência de aderência.

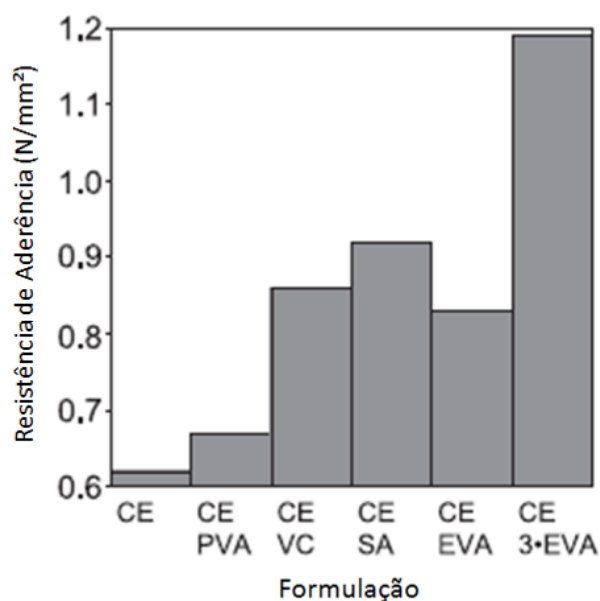


Figura 25 - Resultados de resistência de aderência das argamassas modificadas com polímeros. O teor de PVA na formulação CE/PVA é igual o teor de PVA nas formulações (CE/VC; CE/AS; CE/VAE), apenas na formulação CE 3VAE o teor de VAE é três vezes maior que nas demais argamassas (JENNI, 2005).

Na Figura 25 nota-se que a variação do tipo do pó redispersível, resultou em uma alta variação nos resultados de aderência de argamassas modificadas com polímero de combinação diferente. Cada barra representa o valor médio obtido a partir de cinco medições em amostras equivalentes. A adição de PVA apresenta um leve aumento na resistência de aderência, comparado com a amostra de referência (CE), enquanto que a adição de diferentes pós redispersíveis (VC; SA; VAE) proporciona um forte aumento na resistência de aderência das argamassas, percentual este de até 50% comparado com a amostra de referência (JENNI, 2005).

JENNI (2005) observou que a microestrutura da argamassa é tipicamente dominada por um grande número de bolhas de ar (Figura 26-a), essas bolhas são provenientes da adição de polímeros na composição da argamassa. Argamassas modificadas com éter de celulose (CE) apresenta o índice de vazios em torno de 20% do volume da argamassa. O ar melhora a trabalhabilidade durante a aplicação e assentamento dos azulejos, influenciando na reologia e compressibilidade da argamassa no estado fresco. Na Figura 26-b observa-se

a película polimérica que é capaz de ligar fissuras de retração entre a cerâmica e a argamassa colante aumentando assim a aderência nessa interface (JENNI, 2005).

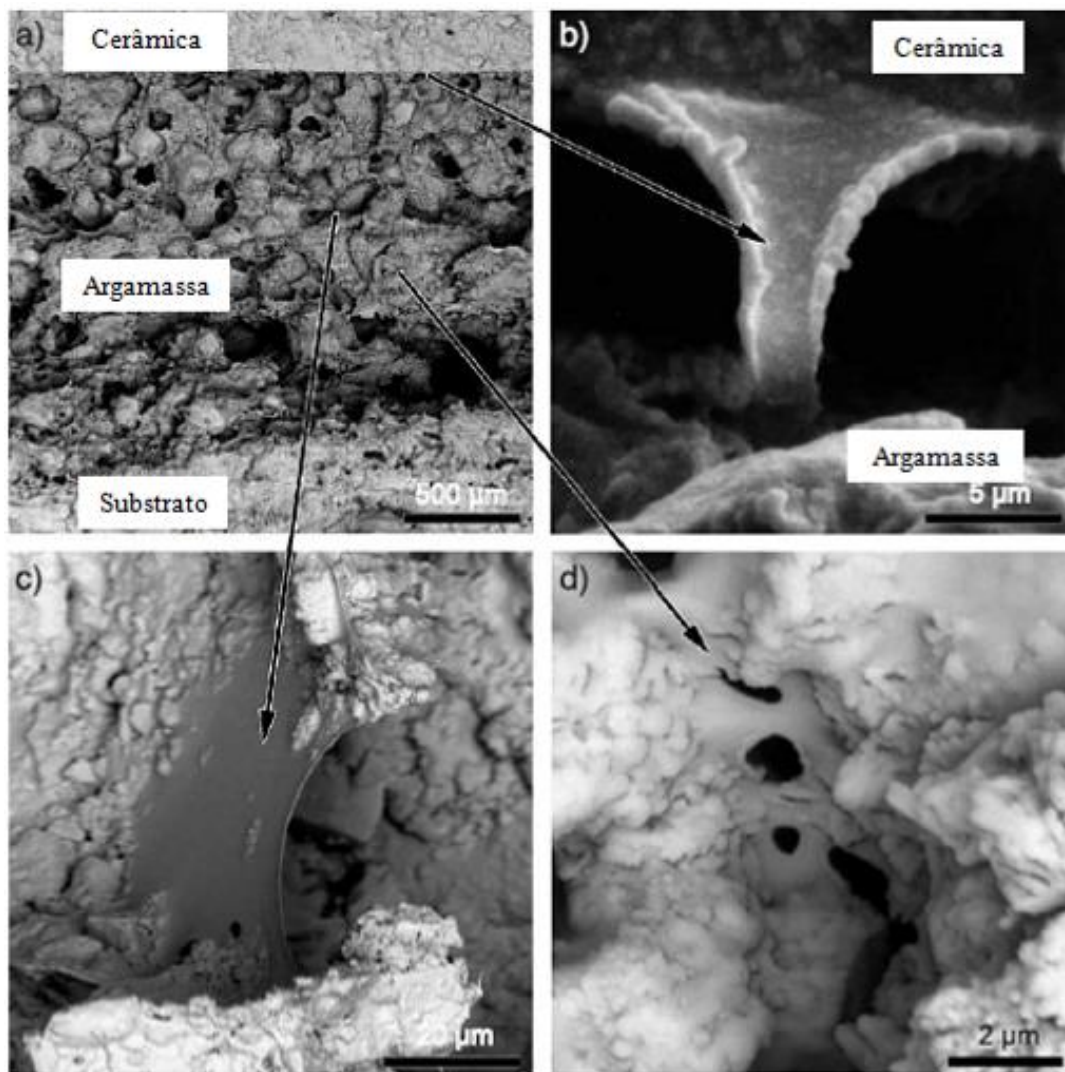


Figura 26 - Análise de MEV da microestrutura da argamassa modificada com polímeros (formulação CE-3VAE). Detalhes: (a) Visão geral mostrando uma secção transversal através da camada de argamassa. A microestrutura é tipicamente dominada por grande número de bolhas de ar. (b) película do copolímero na fissura na interface da argamassa/cerâmica. (c) película de CE na interface das bolhas de ar. (d) película do copolímero no poro capilar da matriz de cimento/polímero (JENNI, 2005).

O estudo realizado por JENNI (2005) mostra a necessidade de entender a microestrutura de materiais cimentícios, pois tem papel fundamental nas propriedades físicas desses materiais. Foi claramente observado o efeito dos polímeros na microestrutura

das argamassas colantes que ocasionou alterações na resistência de aderência das argamassas.

## 2.5 Influência das condições de cura na resistência de aderência das argamassas colantes

O desempenho de aderência do sistema de revestimento cerâmico está relacionado com a condição de cura que a mesma é exposta. O efeito da condição de cura nas resistências de argamassas colantes é diferente da cura em concretos e argamassas convencionais onde a cura úmida é importante para a hidratação do cimento para um desempenho maior. Os materiais à base de cimento modificados com polímeros apresentam melhor desempenho quando curados ao ar, devido à necessidade de secagem da água de amassamento para ocorrer a formação da película polimérica. Outra vantagem da exposição do material ao ar é permitir que o látex polimérico forme de imediato uma película superficial selando a superfície e dificultando a saída da água (LAVELLE, 1988).

OHAMA (1984) verificou redução na resistência de aderência à tração entre argamassas, modificadas com diferentes polímeros, e placas cerâmicas, os resultados estão apresentados na Figura 27.

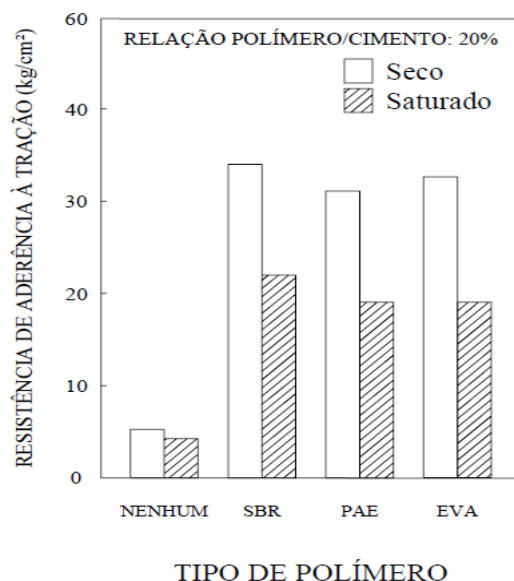


Figura 27 - Influência da cura na resistência à tração (OHAMA, 1998).

Na Figura 27 é possível observar uma redução das resistências das argamassas poliméricas quando em estado saturado (cura imersa), porém as mesmas são superiores às resistências das argamassas não modificadas (OHAMA, 1984).

LAVELLE (1988) também percebeu uma redução na resistência de aderência de argamassas modificadas com polímeros submetidas à cura imersa. Os resultados de resistência de aderência obtidos a diferentes tipos de cura podem ser observados na Figura 28.

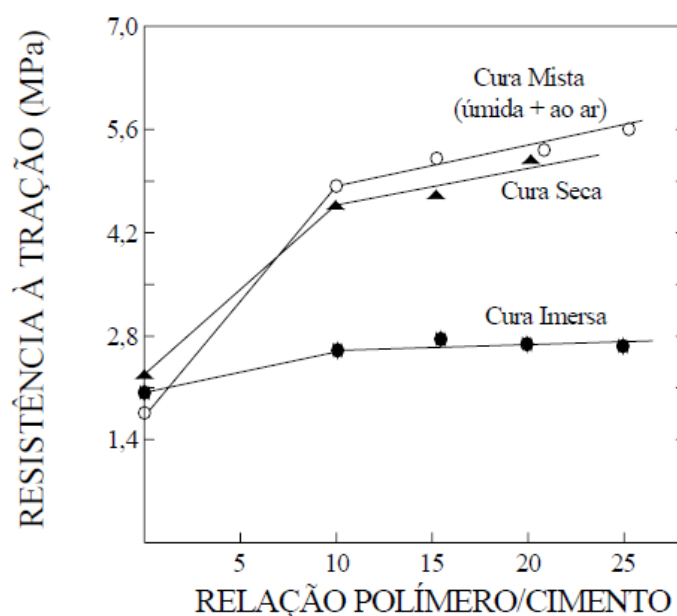


Figura 28 - Influência da cura na resistência à tração (LAVELLE, 1988).

Nota-se que a cura imersa reduz sobremaneira a resistência de aderência, enquanto na cura mista são obtidas as maiores resistências.

JENNI (2003) observou que um dos fatores que influenciam a baixa resistência de aderência de argamassas colantes quando submetidas à cura imersa é a degradação da película polimérica na interface dos poros em argamassa aditivada com éter de celulose (Figura 29). Porém em argamassas contendo adição de VAE ainda observou-se presença da película polimérica na microestrutura mesmo após a exposição das mesmas à água.

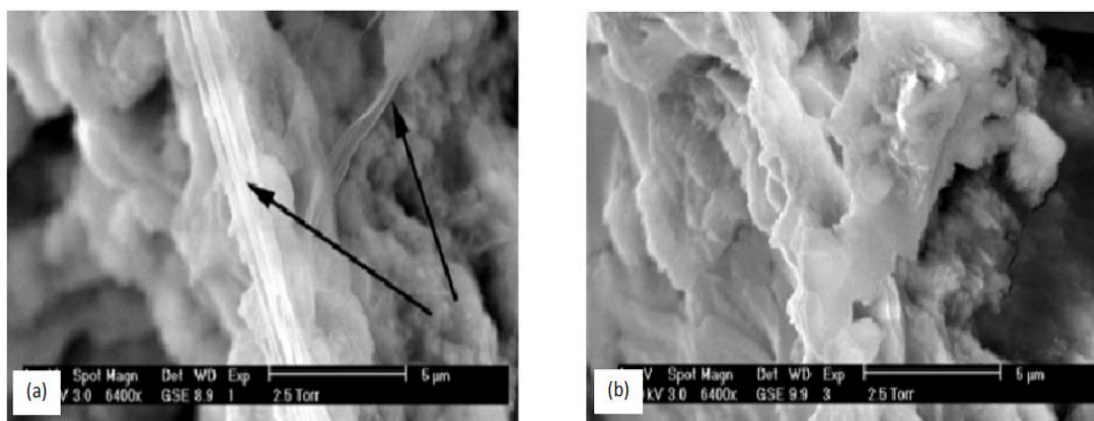


Figura 29 - Microestrutura em argamassa modificada com éter de celulose (a) previamente à imersão e (b) após a imersão (JENNI, 2003).

Existe consenso entre os pesquisadores de que a aderência da argamassa colante é prejudicada quando em condição submersa. Acredita-se que a mais provável razão da queda de resistência seja a modificação das propriedades da película polimérica quando em contato com a água, ou até mesmo a variação de volume da matriz cimentícia devida ao inchamento da fase polimérica e amolecimento de produtos de interação cimento/polímeros (OHAMA, 1984; JENNI, 2003).

Os principais fatores de deterioração do sistema de revestimento cerâmico das edificações são os ciclos de temperatura que provoca a deformação térmica nos materiais do sistema e caracteriza-se por variações dimensionais: retração do substrato, expansão da placa cerâmica por absorção da umidade e dilatação térmica e da retração por secagem da própria argamassa pode provocar tensões de cisalhamento na camada aderente que ultrapassam em muito a resistência intrínseca do material ou a sua adesividade ao substrato ou ao tardo do revestimento cerâmico. Essas variações dimensionais de expansão levam a tensões de compressão e as de retração levam a tensões de tração apresentando manifestações patológicas, principalmente deslocamento das peças cerâmicas (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Estudos realizados com objetivo de medir tensões através de modelagem numérica em elementos finitos, concluíram que gradientes de temperatura da ordem de 45°C, podem

gerar tensões de tração da ordem de 0,5 MPa na interface do revestimento cerâmico com a argamassa colante, podendo provocar ao descolamento das peças. (SILVA *et al.*, 1999).

LUNARDI (2011) investigou um tipo de ciclo higrotérmico, onde estudou três variáveis: a) concentração do polímero de VAE (vinila acetato de etileno) em concentração de 5 e 10%; b) dois tipos de placas cerâmicas, uma classificada como porcelanato e outra como semi-grês; c) e dois tipos de cura, uma em ambiente normal de laboratório e outra cura com ciclos de higrotérmicos, adotando dois dias de imersão em água e dois dias em estufa a  $58^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}$  (temperatura medida na peça cerâmica) durante 20 dias.

Para cura normal observou-se que quanto maior o percentual de polímero na composição, e maior a absorção de água da placa cerâmica, maior será a resistência de aderência do sistema de revestimento. Para cura em ciclos higrotérmicos, foi observado uma redução significativa da resistência de aderência, atingindo valores próximos a zero, levando ao descolamento em alguns casos, resultados apresentados na Figura 30 (LUNARDI, 2011).

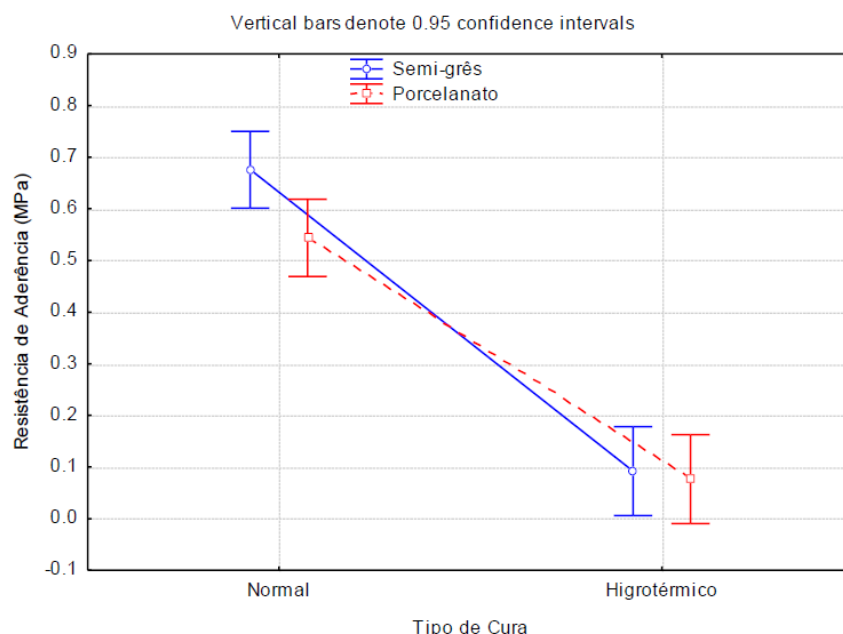


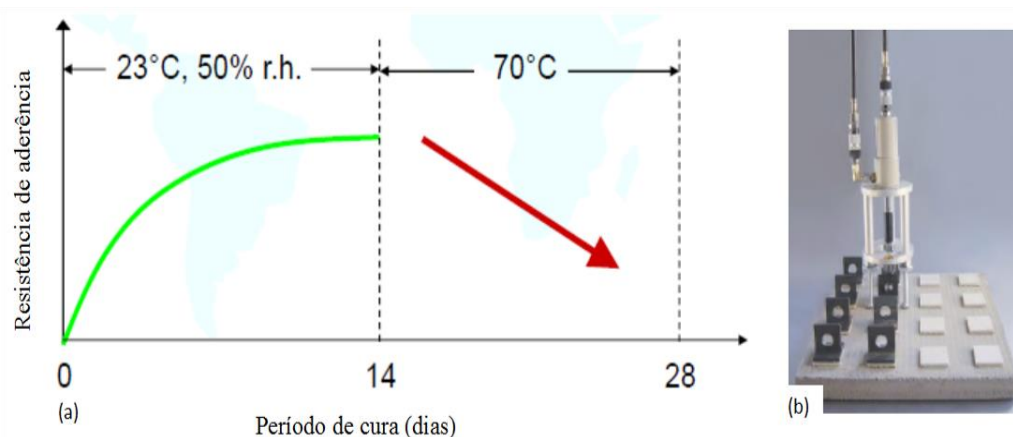
Figura 30 - Resistência de aderência em função da placa cerâmica e condição de cura. (LUNARDI, 2011).

O autor conclui que a placa cerâmica com maior absorção de água confere maior resistência de aderência ao sistema em cura normal, sendo que em cura submersa, a

aderência foi tão baixa quanto para a placa com absorção de água menor. Notou-se também que a presença de água e temperatura na argamassa afeta muito a resistência de aderência, porém considerou-se que o ciclo adotado, foi agressivo, pois as tensões geradas foram elevadas, principalmente nas trocas de ciclo de estufa para ciclo submerso, onde as placas foram submersas antes do resfriamento, surgindo outra interferência: a do choque térmico. No entanto, para resultados complementares, é necessário aplicar outros ciclos higrotérmicos menos agressivos (LUNARDI, 2011).

HÄCKER *et al.*, (2011) investigaram a resistência de aderência em argamassas colantes submetidas à cura térmica de acordo com a EN 1348 de 60 formulações de argamassas. As formulações foram compostas de acordo com os valores ilustrados na Tabela 4.

No entanto, foi observada uma forte redução na resistência de aderência de todas as argamassas analisadas quando submetidas à cura térmica (14 dias a uma temperatura de 70°C), conforme ilustrado na Figura 31 – (a).



Através de imagens de microscopia observou-se a morfologia dos cristais de etringita, para as duas curas, os cristais se apresentaram em forma tubular prismática (parecendo agulhas), porém após a cura térmica, esses cristais aparecem com contornos menos definidos, o que indica que a temperatura danificou os cristais (Figura 32).



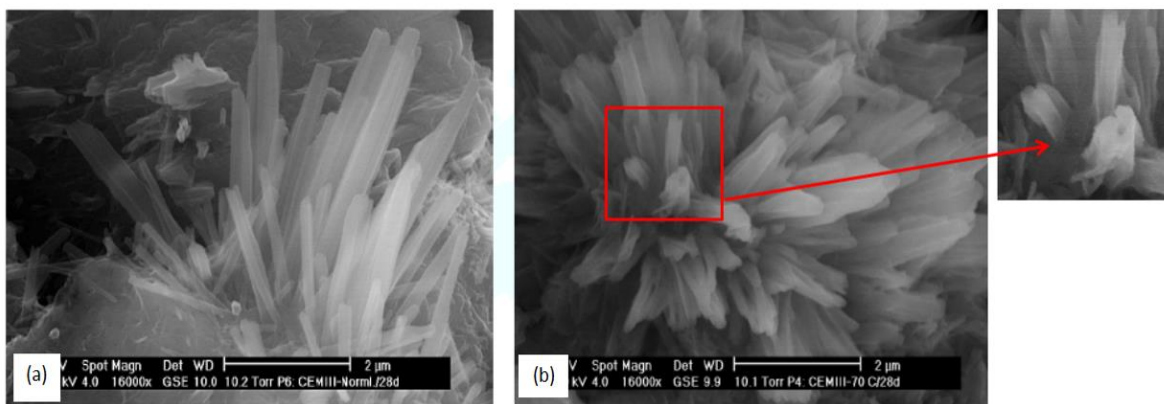


Figura 32 - Cristais de etringita (a) cura normal 23 °C (b) cura térmica 70°C (HÄCKER *et al.*, 2011)

A Figura 33 apresenta o difratograma obtido das argamassas analisadas.

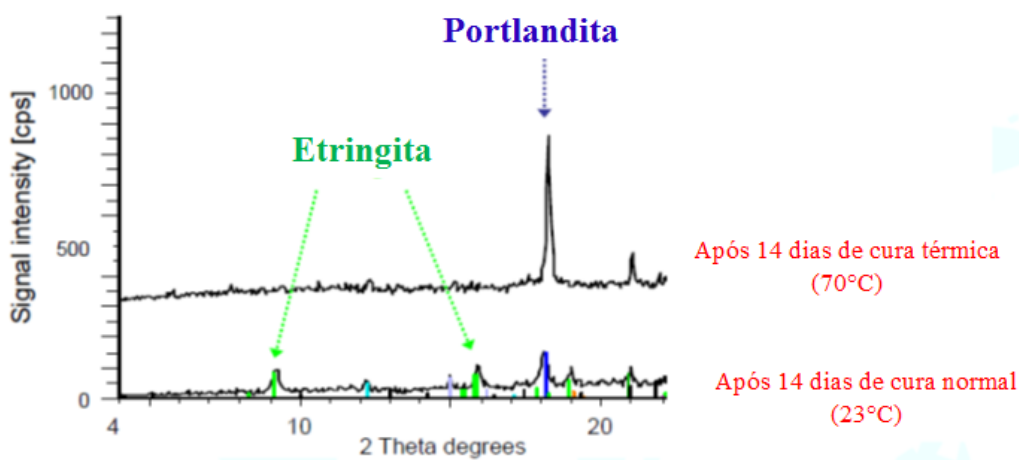


Figura 33 - Resultados de DRX para cura norma e cura térmica (HÄCKER *et al.*, 2011)

Os resultados de DRX ilustrados na Figura 33 mostra que para cura normal os picos de etringita são distintos e foi identificado um pequeno pico de portlandita. Para a cura térmica (70°C) não foi detectado nenhum pico de etringita e um intenso pico de portlandita. A deterioração da etringita também foi observada na análise de termogravimetria (TGA).

Analisando as 60 formulações de argamassas colantes apenas com éter de celulose como aditivo, observou-se o efeito da temperatura sobre a mineralogia das argamassas, onde a etringita é deteriorada durante a cura térmica, e a hidratação das fases silicato é acelerada (formando CSH e portlandita adicional).



Por fim, concluiu-se que a temperatura da cura térmica das argamassas colantes (70°) provoca a degradação da etringita. E sabendo que a etringita e o C-S-H são os minerais responsáveis pela resistência mecânica de materiais cimentícios, esse efeito prejudica o desempenho das argamassas colantes, afetando diretamente a resistência de aderência das mesmas (HÄCKER et al., 2011).

PETIT *et al.*, (2013) estudaram diferentes formulações de argamassas colantes variando o tipo de éteres de celulose, submeteram as argamassas a três tipos de cura (ar, submersa e estufa), e verificaram que para todas as formulações, a cura submersa foi a que apresentou maior redução na resistência de aderência, conforme mostra a Figura 34.

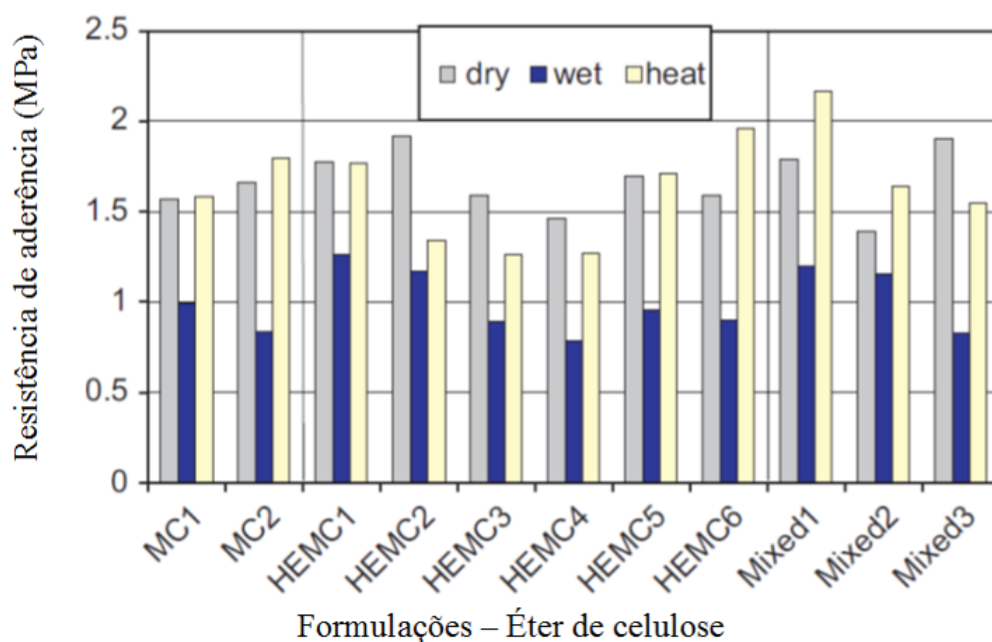


Figura 34 - Resultados de aderência para cura ar (dry - seca), submersa (wet - imersa) e estufa (heat - térmica) (PETIT, 2013).

O procedimento de cura térmica aplicado para argamassas colantes conforme a NBR 14081-4:2012 não simula a condição real do sistema de revestimento em fachadas, pois não se tem uma variação de exposição de ciclos higrotérmicos como na prática. Esses fatores podem ser a explicação das manifestações patológicas apresentadas em cerâmicas de fachadas, porém são poucos os estudos nessa área que investigaram a influência desses ciclos na resistência de aderência das argamassas.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A partir do objetivo proposto neste trabalho, que é avaliar o efeito da cura térmica na resistência de aderência de argamassas colantes formuladas em laboratórios com diferentes teores de cimento e aditivos poliméricos, foi executado um programa experimental que compreendeu as seguintes etapas de trabalho apresentadas no fluxograma abaixo.

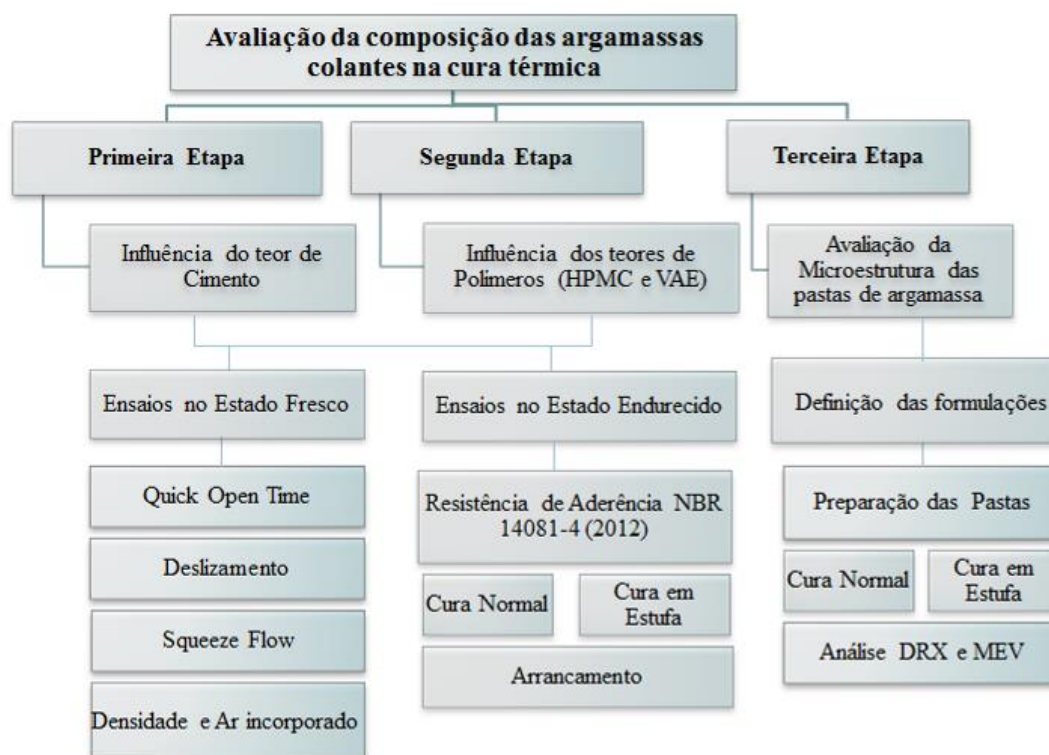


Figura 35 - Fluxograma do programa experimental (FONTE: Própria)

O programa experimental consistiu em três etapas distintas de trabalho a fim de atingir o objetivo proposto para essa dissertação. A primeira etapa foi executada com o intuito de definir as formulações de argamassa colante que seriam estudadas, variando-se o teor de cimento Portland em quatro quantidades distintas e mantendo-se constante os teores de aditivos poliméricos. Essas quatro formulações foram submetidas às caracterizações nos estados fresco e endurecido, a fim de verificar a influência do teor de cimento Portland nas propriedades das argamassas colantes e, com isso, definir alguns teores de cimentos para as avaliações das etapas seguintes. Dessa forma, as etapas subsequentes puderam ser

conduzidas a partir de teores de cimentos que possibilitaram melhores desempenhos das argamassas, principalmente no que se refere à resistência de aderência sob cura em térmica.

Na segunda etapa foram então selecionados dois teores de cimento e novas formulações de argamassa foram então testadas com quatro teores de éter de celulose e polímero redispersível. As variações dos teores de aditivos possibilitaram a avaliação do impacto dos mesmos sobre as propriedades da argamassa, com ênfase também do efeito da cura térmica na resistência de aderência.

A terceira etapa teve como objetivo completar o estudo experimental, avaliando a microestrutura das pastas de algumas formulações de argamassas colantes estudadas nas etapas 1 e 2, a fim de investigar o efeito de cada constituinte das formulações selecionadas na estrutura interna da matriz cimentícia aditivada para dois sistemas de cura diferenciados (cura normal<sup>1</sup> e cura em estufa<sup>2</sup>).

Os ensaios aplicados na primeira e segunda etapas foram realizados no Laboratório de Argamassas Colantes no Centro Técnico da empresa Votorantim Cimentos com exceção do ensaio SQUEEZE FLOW que foi executado no Laboratório de Tecnologia de Argamassas (Lateca) da UFPR. Na terceira etapa, a qual procedeu à avaliação microestrutural das pastas, as análises de DRX foram realizadas no laboratório de raios-X da Votorantim Cimentos, e as análises de MEV foram obtidas no Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR.

### **3.1 Variáveis do estudo**

O projeto desenvolvido tem como variável de resposta a resistência de aderência à tração de diferentes formulações de argamassas colantes submetidas à cura térmica segundo a NBR 14081-4 (2012). Para isso foram desenvolvidas em laboratório vinte formulações de argamassa colante para serem estudadas e as proporções de materiais de cada formulação

---

<sup>1</sup> Cura normal – 28 dias em condições laboratoriais controladas.

<sup>2</sup> Cura em estufa – 14 dias em condições laboratoriais controladas e 14 dias em estufa a 70°C.

de argamassa colante foram arbitradas em função de valores encontrados em pesquisa da literatura. A Figura 36 apresenta o detalhamento das formulações.

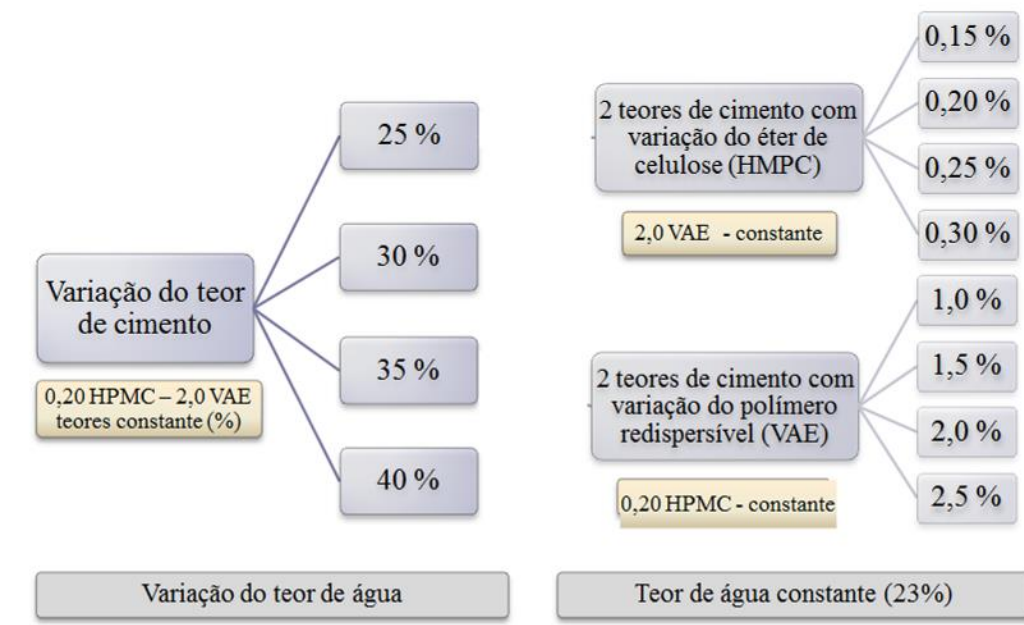


Figura 36 - Formulações de argamassa colante arbitradas na pesquisa (FONTE: Própria).

Os teores de polímeros e de água foram dosados em relação à massa total de sólidos. Para a variação do teor de cimento, os polímeros foram fixados (0,20% HPMC e 2,0% VAE) e o teor de água variado conforme mencionado nos itens 3.3.2.1 e 3.3.2.2. Para a variação dos teores de polímeros, à medida que se variou os quatro teores de HPMC o VAE foi mantido constante em 2,0%, e quando se variou o teor de VAE, o HPMC se manteve constante em 0,20%. Nas formulações com variação dos polímeros foi possível manter o teor de água constante para todas as formulações.

### 3.2 Materiais empregados

#### 3.2.1 Ligante

O ligante utilizado para a preparação das formulações de argamassas foi o cimento Portland composto com fíler, da classe 32 MPa (CP II F-32), da região de Curitiba, PR. A Tabela 3 apresenta as características químicas e físicas do mesmo lote de cimento utilizado nesse estudo.

Tabela 3 - Características físico-químicas do cimento Portland (CP II F-32)

Composição Química (%)														
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZnO	SrO	P.Fogo	R.I
23,16	3,2	2,84	55,29	9,09	0,36	0,99	2,19	0,008	0,1	0,18	0,02	0,08	2,48	1,02
Propriedades Físicas														
Tempo de Pega (min)		Consistência (%)	#200 (%)	# 325 (%)	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Massa Específica g/cm <sup>3</sup>	Resistência à Compressão (MPa)							
Inicial	Final						3 dias	7 dias	28 dias					
230	305	27,8	1,3	6,1	3530	3,13	27	32,1	40,1					

#### 3.2.2 Aditivos poliméricos

Os polímeros adicionados nas formulações foram: éter de celulose - Hidroxipropilmetil celulose (HPMC) que se trata de um polímero semi-sintético solúvel em água, e copolímero a base de monômeros de acetato de vinila e etileno (VAE). A Tabela 4 apresenta as especificações dos aditivos fornecidas pelo fabricante.

Tabela 4 - Especificações dos aditivos poliméricos fornecidas pelo fabricante.

VAE	Teor de Sólidos	99 ± 1 (%)
	Colóide protetor	Álcool polivinílico (PVA)
	Tamanho médio de partícula	80 µm
	Densidade	0,5 g/ml
HPMC	Viscosidade	48.000~56.000 mPa.s
	Tamanho de partícula	< 177 µm

### 3.2.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nas argamassas foi uma areia de quartzo com dimensão passante na peneira 0,6 mm e retida na peneira 0,09 mm, com mais de 50% de material retido entre as peneiras 0,13 e 0,11 mm, conforme mostra a distribuição granulométrica da areia apresentada na Figura 37.

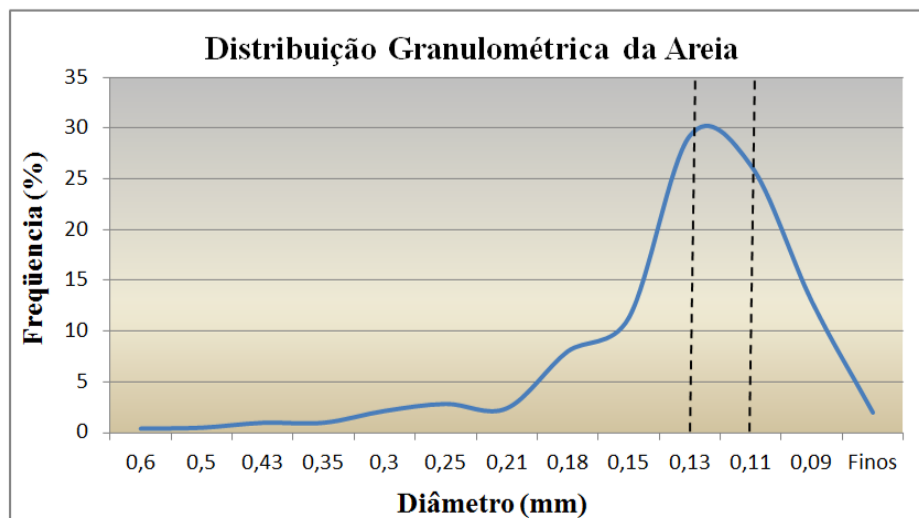


Figura 37 - Distribuição granulométrica da areia de quartzo (FONTE: Própria)

### 3.2.4 Substrato Padrão

O substrato padrão de concreto foi adquirido na ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), com as características de acordo com as especificações da norma técnica NBR 14081-2 (2012). A Figura 38 apresenta as especificações do substrato.

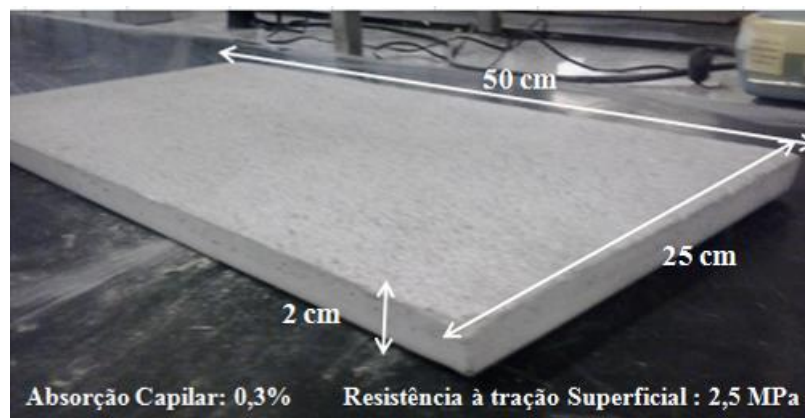


Figura 38 - Especificação do substrato padrão (FONTE: Própria)

### 3.2.5 Placas Cerâmicas

Foram utilizados para os ensaios de *Quick Open Time* e Resistência de Aderência dois tipos de placas cerâmicas em função do percentual de absorção de água. As placas cerâmicas com maior taxa de absorção foram utilizadas para o ensaio de *quick open time* ainda no estado fresco e as placas com menor absorção foram utilizadas para o ensaio de *determinação da resistência de aderência à tração*, de acordo com as recomendações da NBR 14081-1. Para o ensaio de deslizamento foram utilizadas placas de porcelanato com absorção  $\leq 0,5\%$ . A Tabela 5 apresenta as especificações das placas para os ensaios.

Tabela 5 - Especificações das placas cerâmicas fornecidas pelos fabricantes.

Ensaio de argamassa	Tipo de placa	Classificação	Absorção de água (%)	Espessura (mm)	Dimensão (mm)
Resistência de aderência	Semi-Grês	BIIa	$4 \pm 1$	8,2 a 9,2	50x50
Quick Open Time	Monoporosos	BIII	$15 \pm 3$	8,2 a 9,2	50x50
Deslizamento	Porcelanato	BIa	$< 0,5$	8,9	100x100

### 3.3 Métodos de ensaios

Os ensaios apresentados a seguir foram aplicados para todas as formulações estudadas e descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação de todas as formulações de argamassas colantes produzidas na pesquisa.

Identificação		Materiais Constituintes					
		CPIIF (%)	AREIA (%)	Éter de Celulose (HPMC) (%)	Polímero Redispersível (VAE) (%)	Teor de água (%)	Relação a/c
Variação do Cimento	25 CP	25	75	0,2	2,0	23,0	0,92
	30 CP	30	70	0,2	2,0	23,6	0,79
	35 CP	35	65	0,2	2,0	24,0	0,69
	40 CP	40	60	0,2	2,0	24,5	0,61
Variação do teor de éter de celulose (HPMC)	25 CP_ 0,15 HPMC	25	75	0,15	2,0	23,0	0,92
	25 CP_ 0,20 HPMC	25	75	0,2	2,0	23,0	0,92
	25 CP_ 0,25 HPMC	25	75	0,25	2,0	23,0	0,92
	25 CP_ 0,30 HPMC	25	75	0,3	2,0	23,0	0,92
	35 CP_ 0,15 HPMC	35	65	0,15	2,0	23,0	0,66
	35 CP_ 0,20 HPMC	35	65	0,2	2,0	23,0	0,66
	35 CP_ 0,25 HPMC	35	65	0,25	2,0	23,0	0,66
	35 CP_ 0,30 HPMC	35	65	0,3	2,0	23,0	0,66
Variação do polímero redispersível (VAE)	25 CP_ 1,0 VAE	25	75	0,2	1,0	23,0	0,92
	25 CP_ 1,5 VAE	25	75	0,2	1,5	23,0	0,92
	25 CP_ 2,0 VAE	25	75	0,2	2,0	23,0	0,92
	25 CP_ 2,5 VAE	25	75	0,2	2,5	23,0	0,92
	35 CP_ 1,0 VAE	35	65	0,2	1,0	23,0	0,66
	35 CP_ 1,5 VAE	35	65	0,2	1,5	23,0	0,66
	35 CP_ 2,0 VAE	35	65	0,2	2,0	23,0	0,66
	35 CP_ 2,5 VAE	35	65	0,2	2,5	23,0	0,66



### 3.3.1 Procedimento de mistura

As formulações de argamassa colante foram dosadas e homogeneizadas em laboratório com condições ambientais controladas (Temperatura:  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e Umidade:  $60\pm 5\%$ ). A mistura dos constituintes da argamassa no estado anidro foi realizada preliminarmente com o auxílio de um saco plástico, agitando-se o material dentro do saco para dispersar os aglomerados e obter uma mistura homogênea. Cada mistura de argamassa compreendeu um total de 2,5 kg de material anidro adicionados no misturador planetário seguindo os procedimentos determinados na NBR14081-2 (2012). Essa norma estabelece a mistura do pó na água, utilizando um misturador planetário com velocidade de rotação baixa do aparelho (140 RPM).

O tempo de espera adotado para a maturação das argamassas no estado fresco foi de 15 minutos antes da realização dos ensaios, conforme a recomendação do fornecedor de aditivo. O teor de água inicial utilizado para a mistura das argamassas partiu de uma média indicada para argamassas de mercado, conforme recomendação dos fabricantes, e esse teor foi ajustado conforme o desempenho das argamassas no ensaio de deslizamento (item 3.3.2.1) e Quick open time (item 3.3.2.2). A Figura 39 apresenta o procedimento de mistura das argamassas.

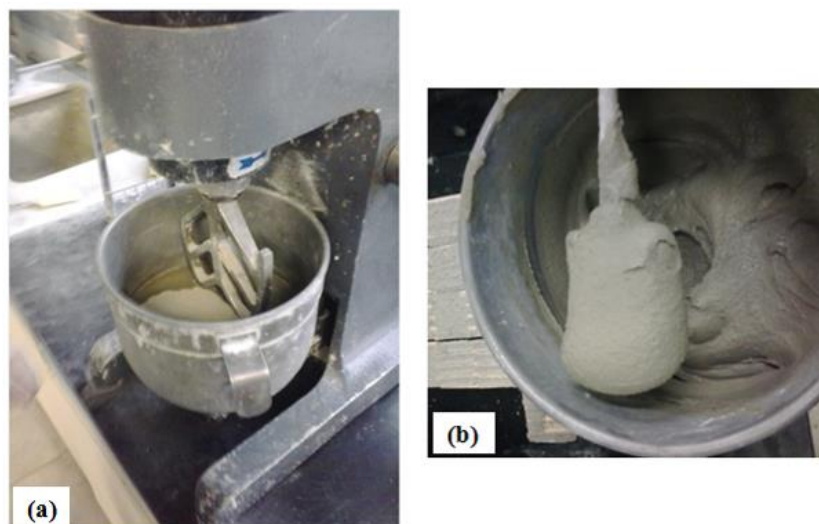


Figura 39 – Procedimento de mistura da argamassa - (a) mistura do pó na água (b) argamassa após o tempo de maturação (FONTE: Própria)

### 3.3.2 Ensaios no estado fresco

Para definir o teor de água de cada formulação, no início do procedimento experimental aplicaram-se dois métodos de ensaio, conforme descritos nos itens a seguir:

#### 3.3.2.1 *Determinação do Deslizamento*

O método do ensaio de deslizamento especificado na NBR 14081-3 (2012) avalia a capacidade da argamassa resistir ao deslizamento vertical de peças de porcelanato assentadas com argamassa colante após um tempo de 20 minutos da aplicação, devendo apresentar um deslizamento menor que 2 mm.

Esse ensaio foi adotado para a metodologia apresentada a fim de auxiliar na definição do teor de água de misturas das argamassas. Cada formulação foi submetida ao ensaio de deslizamento e observado se o deslizamento foi inferior a 2 mm, requisito de desempenho especificado na norma brasileira.

À argamassa é aplicada sobre o substrato padrão (o mesmo utilizado para os demais ensaios especificados na NBR 14081-1), e os cordões são formados no sentido transversal ao substrato. Após 2 minutos da formação dos cordões sobre o substrato padrão, peças de porcelanato (dimensão 10 cm x 10 cm x 8,9 mm, 195 g e absorção 0,5%) são assentadas sobre os cordões de argamassa com um peso de 5 kg sobreposto em cada peça na posição horizontal

Em seguida com auxílio de um paquímetro faz-se a leitura inicial da distância entre a peça de porcelanato com a barra do suporte metálico utilizado para deixar o conjunto substrato/placas na sua posição vertical. Após 20 minutos com o suporte levantado, faz-se a leitura final dessa mesma distância, e mede-se o deslizamento da argamassa, que por requisito de qualidade deve apresentar valor igual ou inferior a 2 mm (deslizamento  $\leq$  2mm). A Figura 40 ilustra o ensaio de deslizamento.

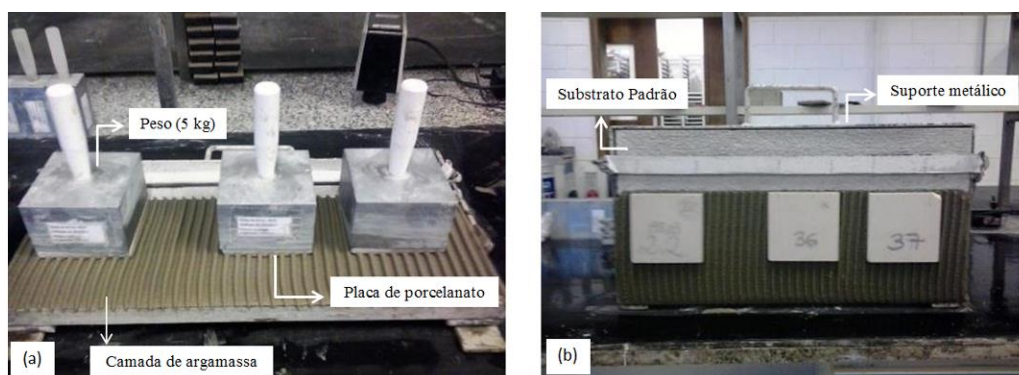


Figura 40 – Ensaio de determinação do Deslizamento - (a) Etapa de colocação dos pesos sobre as peças de porcelanato- (b) Etapa de posicionamento do substrato de concreto na posição vertical. (FONTE: Própria)

Com a aplicação desse método é possível observar inicialmente se a argamassa possui excesso de água na mistura, e também é possível verificar o efeito de aditivos nessa primeira análise, pois são fatores que influenciam na resistência ao deslizamento de argamassas colantes. Esse ensaio é comumente utilizado pelos fabricantes para o desenvolvimento de argamassas tipo ACI, pois auxilia no controle do potencial de deslizamento, além de manter o controle de qualidade no processo de fabricação, para que as argamassas atendam ao requisito normativo (deslizamento  $\leq 2$  mm).

### 3.3.2.2 Quick open time

*Quick Open Time*, conhecido como Tempo em aberto rápido é um método não normatizado, porém utilizado para auxiliar no desenvolvimento de argamassas colantes, pois a partir desse método é possível medir a capacidade da argamassa preencher o tardo da placa cerâmica, ainda no estado fresco, em função do tempo estendido. Ajustes na formulação já se tornam possíveis após esse ensaio.

O substrato padrão é preparado conforme a NBR 14081-2 (2012), sendo que após 5 minutos da formação dos cordões, coloca-se a primeira peça cerâmica (5x5 cm; absorção  $15 \pm 3$  %) e posiciona-se um peso padrão de 2,0 kg sobre a mesma por um período de 30s. Em seguida remove-se a peça colada na argamassa e verifica seu cobrimento sobre a área do tardo da placa, esse procedimento repete-se de 5 em 5 minutos por um tempo estendido conforme a especificação da argamassa, nesse caso foi adotada um período de 30 minutos. A Figura 41 ilustra o ensaio de quick open time – tempo em aberto rápido.

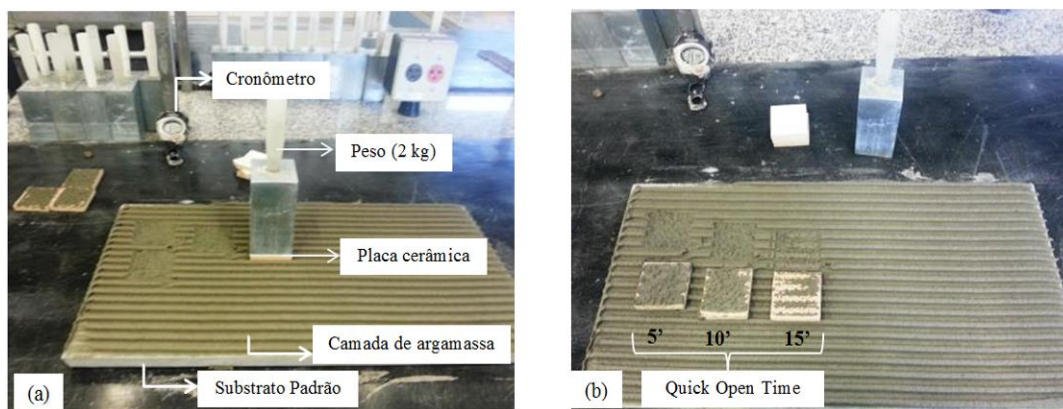


Figura 41 - Método de quick open time (tempo em aberto rápido) - a) procedimento do ensaio b) análise visual da adesão da argamassa na peça cerâmica em função do tempo (FONTE: Própria).

Com o auxílio dessas duas ferramentas (deslizamento e *quick open time*) foi então definido o teor de água para cada formulação de argamassa colante e, na sequência, procedeu-se os ensaios propostos no programa experimental.

### 3.3.2.3 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

O método da determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado foi adaptado conforme a NBR 13278 (2005), onde com o auxílio de um recipiente cilíndrico com volume conhecido são colocadas três camadas de argamassa em proporções iguais, para cada camada aplicam-se 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa utilizando-se uma espátula. Após o adensamento da última camada, o recipiente é levemente solto de uma altura aproximadamente de 15 cm sobre uma superfície plana de uma distância de 2 cm, isso se repete por 3 vezes, a fim de garantir o completo adensamento da argamassa. Por fim realiza-se o rasamento do recipiente com uma régua, eliminando o excesso de argamassa da superfície, e pesa-se todo o conjunto (FIGURA 42). A densidade da massa é a diferença entre as massas do recipiente cheio e vazio divididos pelo volume do recipiente.

O teor de ar incorporado presente na mistura é calculado conforme recomendado na NBR 13278 (2005) para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Para obtenção do teor de ar incorporado utiliza-se o valor da massa específica das argamassas, que foi obtida seguindo procedimentos da NBR NM 23 (2001).

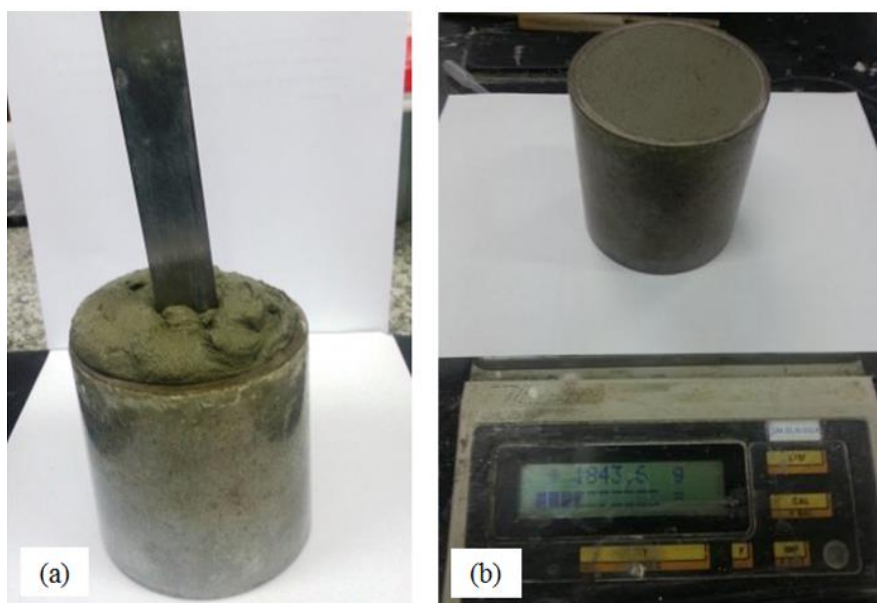


Figura 42 - Densidade a fresco da argamassa a) adensamento da argamassa b) pesagem do conjunto (recipiente + argamassa) (FONTE: Própria).Ensaio de Squeeze Flow e Pull Out Flow

Para avaliar o comportamento reológico das argamassas foi aplicado o ensaio de Squeeze Flow, método normatizado para argamassas convencionais conforme a NBR 15839 (2010), porém adaptado para argamassas colantes segundo recomendações sugeridas por KUDO *et al.* (2011).

O método consiste em avaliar o escoamento do material sobre uma força de compressão, o que o torna interessante para área de argamassas colantes, tendo em vista que o método simula as condições de aplicação da argamassa sobre o substrato e o espalhamento da argamassa em decorrência da compressão.

Após o procedimento de mistura é realizada a moldagem da argamassa sobre o anel de PVC com diâmetro de 101 mm e altura de 10 mm. Na sequência esse corpo de prova é posicionado em uma prensa universal de ensaios, onde a punção (placa superior em aço inox) mede 50,8 mm de diâmetro.

Após a punção estar estacionada a uma altura de 100 mm da superfície do corpo de prova, inicia-se a compressão que possui sua taxa de deslocamento de 0,1 mm/s, o corpo de prova é comprimido a uma profundidade de 8 mm. No entanto, o resultado é obtido por



meio de uma curva da carga de compressão versus deslocamento. A Figura 43 ilustra a execução desse ensaio.

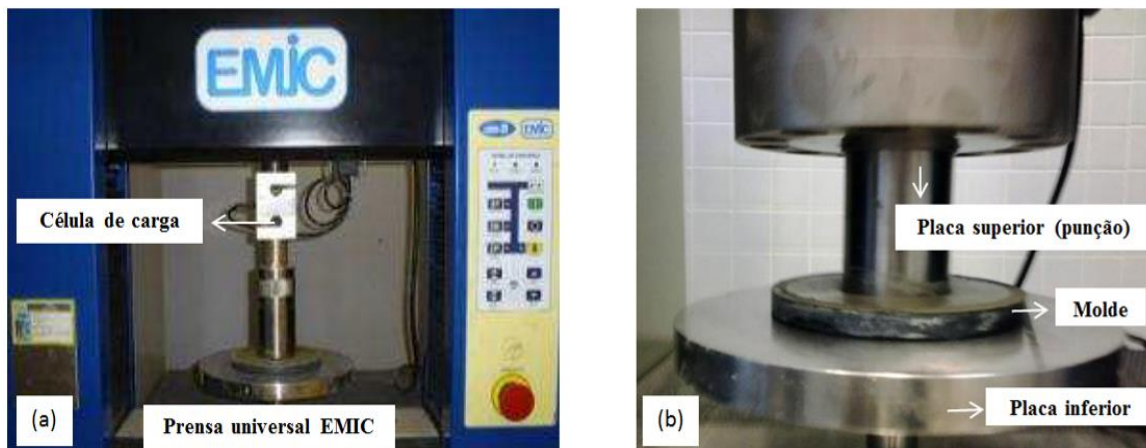


Figura 43 - Ensaio de Squeeze Flow - (a) punção estacionada na superfície do corpo de prova - prensa EMIC  
(b) corpo de prova submetido à carga de compressão (FONTE: Própria)

Após aplicação de força de compressão na amostra, o punção fica, então, estacionado por 15 segundos para relaxação da amostra e, por fim, é tracionado até a ruptura da estrição, conforme ilustrado na Figura 44.

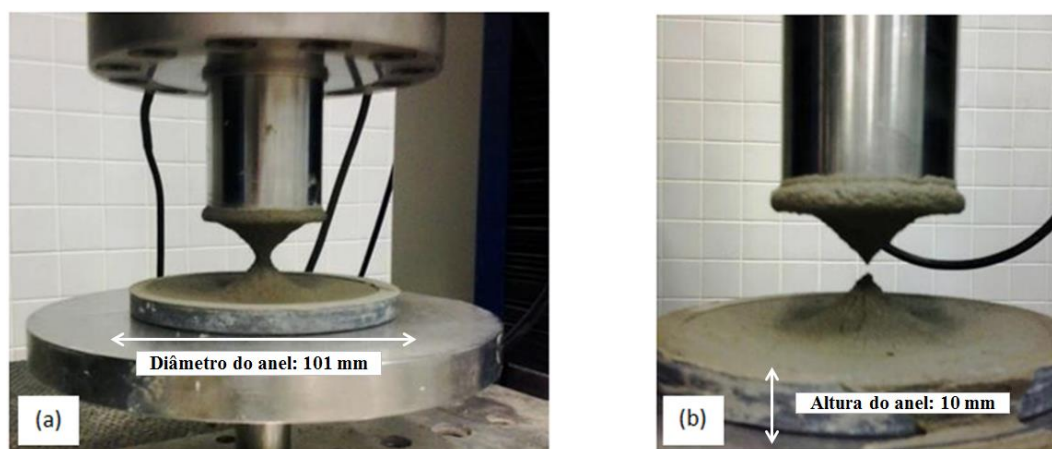


Figura 44 - Ensaio de Pull Out Flow - (a) corpo de prova submetido à carga de tração (b) ruptura da estrição  
(FONTE: Própria)

No entanto, no mesmo corpo de prova é possível avaliar o potencial de adesão a fresco da argamassa, pois a força aplicada para o punção retornar a posição final de ensaio, realiza a tração da argamassa no estado fresco ou *Pull Out Flow*.

### 3.3.3 Ensaios no estado endurecido

#### 3.3.3.1 Resistência de aderência à Tração

Para determinar a aderência das formulações de argamassas colantes foi realizado o ensaio conforme a NBR 14081-4 (2012) para a cura normal e cura térmica em estufa (nesse estudo a cura submersa não foi aplicada). A mistura da argamassa e preparação do conjunto para realização do ensaio de aderência procedeu-se conforme a NBR 14081-2 (2012). A Figura 45 ilustra o procedimento de moldagem do conjunto (placa + argamassa + peças cerâmicas).

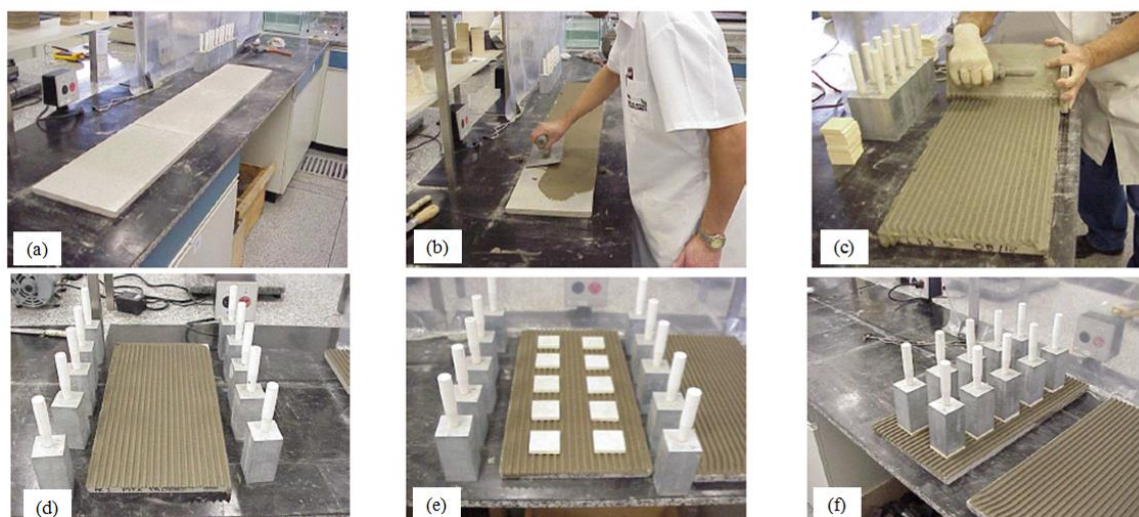


Figura 45 - Procedimento de moldagem (Fonte: ROSSA, 2009) a) posicionamento das placas de substrato padrão b) imprimação da placa para regularização da superfície c) formação dos cordões d) tempo estendido de 5 minutos e) posicionamento das placas cerâmicas f) assentamento das placas cerâmicas com peso de 2 kg sobrepostas em cada placa (5x5 cm).

Após a preparação dos conjuntos, os mesmos são armazenados por 28 dias de acordo com o procedimento de cura.

Para cura normal o conjunto fica exposto dentro do laboratório sobre condições ambientais rigorosamente controladas, conforme estabelecido na norma NBR 14081-1 (temperatura  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $60\pm 4\%$ ).

Para cura térmica em estufa o conjunto fica armazenado por 14 dias em condições climáticas do laboratório e 14 dias a uma temperatura de  $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ , dentro de uma estufa com circulação de ar e mantendo a temperatura e umidade controladas. A Figura 46 apresenta a sala de cura dos conjuntos (placa + argamassa + cerâmica).



Figura 46 - Procedimento de cura - (a) Estante metálica para acondicionamento dos substratos para Cura normal (b) Sala para os procedimentos de cura (c) Estufa para acondicionamento dos corpos de prova em ambiente de cura térmica (cura em estufa) (FONTE: Própria)

Para maior confiabilidade no ensaio, foram moldadas duas placas para cada cura, em que cada placa possui dez corpos de prova, dessa forma será realizada uma análise estatística de 20 corpos de prova para cada formulação. O resultado desse ensaio é um valor de resistência de aderência expresso em MPa.

Após os 28 dias (período de cura), o conjunto constituído de substrato-padrão, argamassa colante endurecida e peça cerâmica é submetido ao ensaio de tração direta. Sobre as peças cerâmicas é colada com um adesivo bicomponente à base de resina epóxi, uma peça metálica da mesma dimensão da peça cerâmica cobrindo toda a área do corpo de prova, e após a cura da cola, essas peças são arrancadas (Figura 47) com o auxílio de um dinamômetro a uma velocidade de carregamento de, aproximadamente 250 N/s.



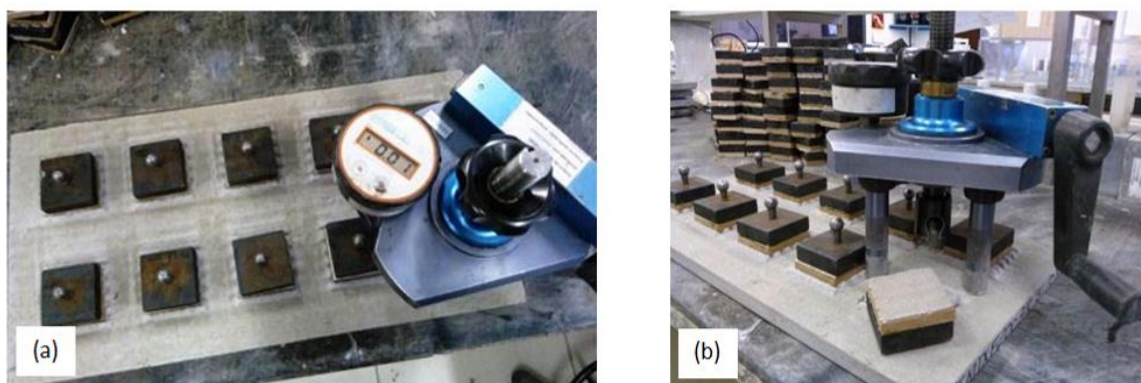


Figura 47 - Resistência de Aderência – (a) posicionamento do dinamômetro sobre o conjunto (b) arrancamento do primeiro corpo de prova (FONTE: Própria)

### 3.3.4 Caracterização da Microestrutura

Com base nos resultados de resistência de aderência das argamassas, foram selecionadas algumas formulações a fim de avaliar a microestrutura das pastas de argamassas, através de análise de difração por raio-x e microscopia eletrônica de varredura.

#### 3.3.4.1 Preparação das amostras

As formulações foram dosadas com cimento + aditivos poliméricos + água. A areia foi eliminada da composição a fim de não mascarar os resultados dessa etapa, tendo em vista que seu volume representa mais que 60% do volume das argamassas.

Foi fixada a relação água/cimento das pastas em 0,46 , de acordo com METHA (2008) essa é a relação a/c mínima para que aconteça as reações químicas do cimento. Bem como, foi verificado que essa relação a/c em 0,46 proporcionou uma consistência adequada para as pastas, não deixando-as muito seca e nem muito fluida, e sem exsudação. A relação a/c das pastas foi menor do que das formulações de argamassas, pois trata-se apenas de cimento e água, já as argamassas contém polímeros, o que muda totalmente o comportamento das formulações.

A mistura das pastas procedeu-se com a adição do material em pó na água por um período de 1 min e 30s em um agitador mecânico de hélice, alcançando uma mistura homogênea e sem grumos.

Os corpos de prova foram obtidos a partir do lançamento de uma camada com altura de 2 cm da pasta em um recipiente plástico. Após três dias esses corpos de prova foram removidos do recipiente plástico e foram cortados ao meio (serra de cortar ferro), obtendo dessa forma dois corpos de prova com 1 cm de altura que foram armazenados nas mesmas condições de cura realizada para o ensaio de resistência de aderência das argamassas (cura normal e cura térmica na mesma estufa utilizada na etapa anterior).

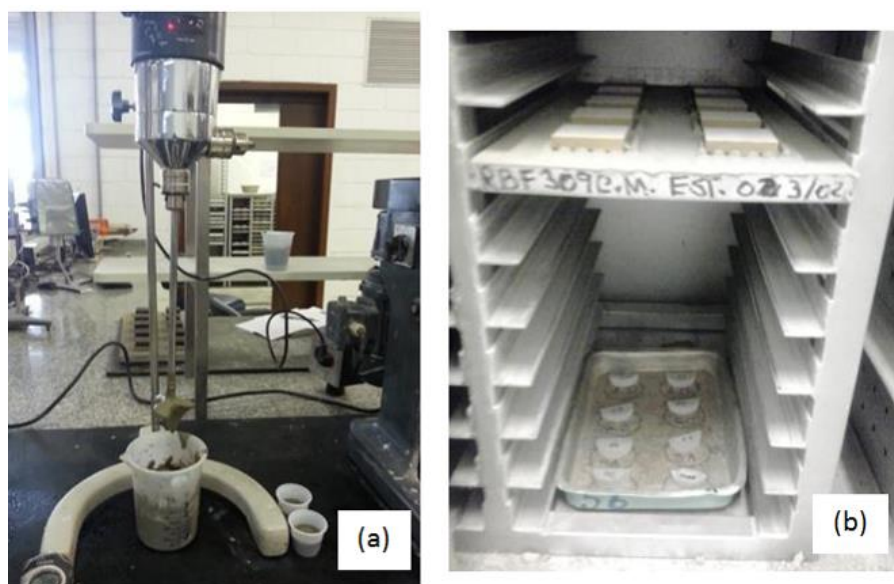


Figura 48 - (a) Preparação das pastas (b) Prateleiras na estufa para cura térmica (FONTE: Própria)

#### *3.3.4.2 Análise de imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de dispersão de energia (EDS)*

Com as imagens obtidas pelo MEV o objetivo foi visualizar a morfologia e textura dos compostos hidratados formados no processo de hidratação do cimento das pastas de argamassas e correlacionar esses resultados com a análise de DRX.

Para obtenção das imagens microscópicas, os corpos de prova foram reduzidos de tamanho através de um lixamento manual realizado com uma lixa grossa (n° 320), e em seguida realizou-se o polimento das amostras com auxílio de uma politriz usando uma lixa mais fina (n° 600), a fim de deixar a superfície da argamassa polida e isenta de irregularidades para poder visualizar a heterogeneidade no interior da amostra.

As amostras polidas foram metalizadas com uma fina camada de ouro lançada na superfície da amostra sobre pressão a vácuo. Esse procedimento visa melhorar a condutibilidade das amostras, e consequentemente melhorar a qualidade das imagens obtidas pelo MEV.

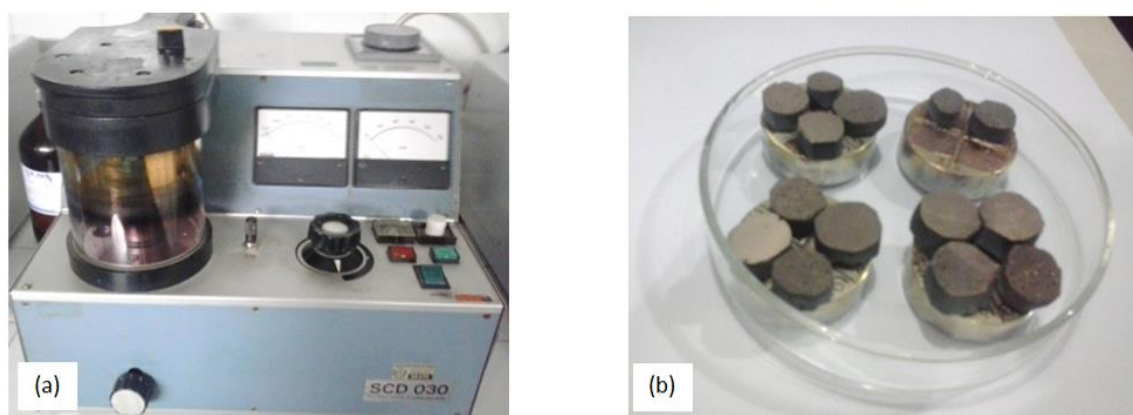


Figura 49 - Preparação das amostras para a análise por MEV – (a) Equipamento para metalização (b) Amostras metalizadas com ouro (FONTE: Própria)

Por fim as amostras foram colocadas no porta-amostra que tem seção circular de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro e altura máxima da amostra de 1,5 cm, em cada porta-amostra couberam quatro corpos de prova. Na sequência o porta-amostra foi inserido no microscópio eletrônico de varredura (MEV) com baixo vácuo e EDS acoplado. O equipamento possui o sistema de Catodo Luminescência (CL) MonoCL 4 plus da Gatan, com capacidade para obter imagens pancromáticas, monocromáticas e espectros no intervalo de 165 a 930 nm.

Em conjunto com a análise de imagens é possível realizar a espectrometria de dispersão de energia - EDS, determinando a composição química aproximada de partículas, de regiões ou pontos de interesse. A função do EDS é detectar, contar e distribuir, em

classes de energia, os raios-x produzidos por uma pequena região da amostra selecionada para análise. A Figura 50 mostra detalhes do equipamento utilizado.

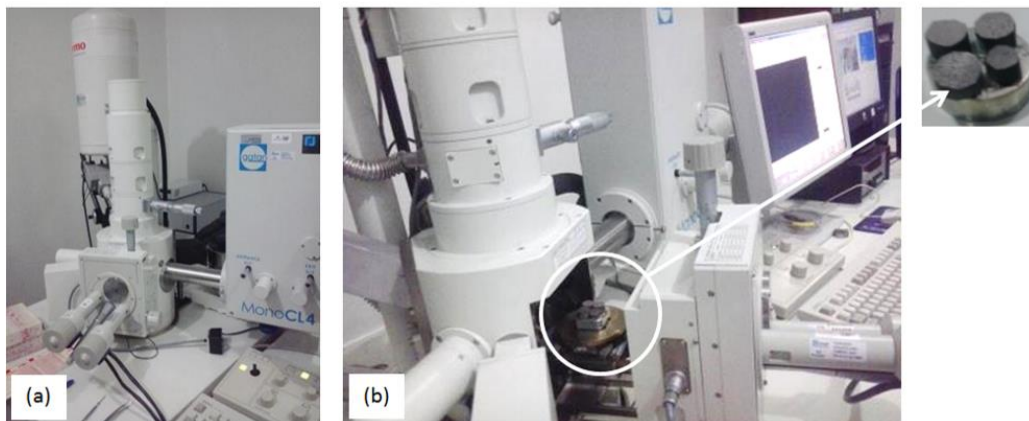


Figura 50 – Análise de MEV – (A) Microscópio (b) Porta amostras (FONTE: Própria)

#### 3.3.4.3 Análise de Difração de Raios X – DRX

Com essa técnica são identificadas as estruturas cristalinas de um composto mineralógico. No entanto, a DRX foi utilizada a fim de identificar os compostos mineralógicos formados nas pastas de argamassas.

A preparação das amostras para análise de DRX resultou da moagem do corpo de prova no estado endurecido, no moinho de panela, por 10s, deixando a amostra em pó. Na sequência prepararam-se as amostras com prensagem manual no porta-amostra metálico que são inseridos no difratômetro, conforme ilustrado na Figura 51.

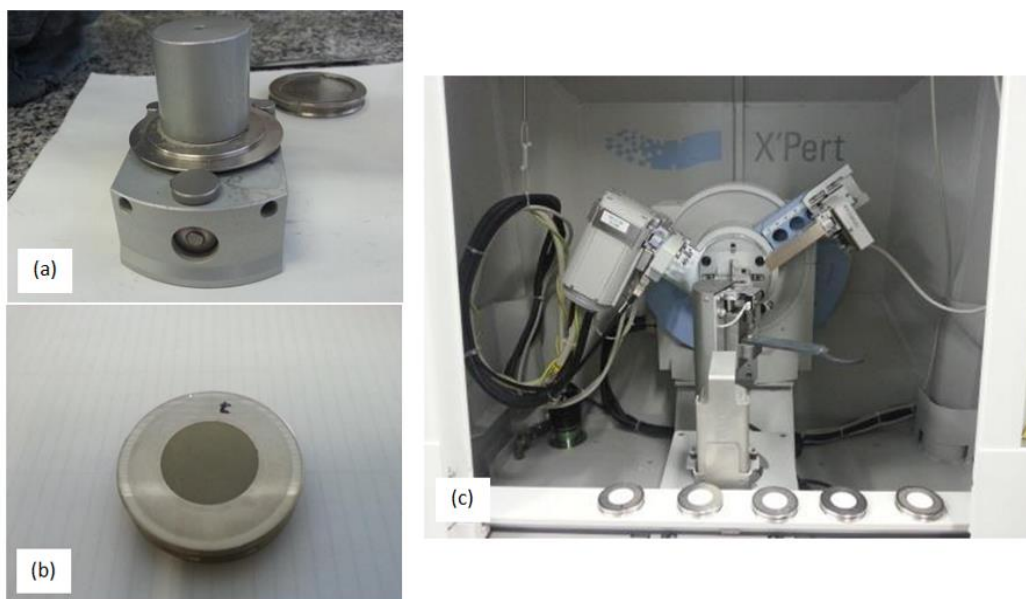


Figura 51 - Análise de DRX - (a) preparação da amostra (b) corpo de prova (c) difratômetro s (FONTE: Própria)

Os parâmetros empregados para essa análise foram: tempo de varredura de 20 minutos e velocidade de contagem de 40 s por passo em ângulos  $2\theta$  entre 5 graus e 70 graus e com tempo de passo de 0,017 graus/segundo. Como fonte de raios X foi utilizada o tubo cerâmico com anodo de cobre, com comprimento de onda de  $1,540598 \text{ \AA}$ , na potência máxima de 1600 W.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Primeira etapa – Avaliação da influência do teor de cimento

De acordo com a metodologia proposta no trabalho, a primeira etapa foi executada com o objetivo de avaliar a influência do teor de cimento na resistência de aderência das argamassas colantes submetidas à cura térmica em estufa segundo a NBR 14081-4 (2012).

#### 4.1.1 Determinação do Deslizamento - NBR14081-3 (2012)

O ensaio de deslizamento foi utilizado na pesquisa como uma ferramenta para auxiliar na definição do teor de água para as formulações de argamassas colantes. A Figura 52 apresenta a influência do teor de cimento sobre o deslizamento da argamassa para os referidos teores de água adotados.

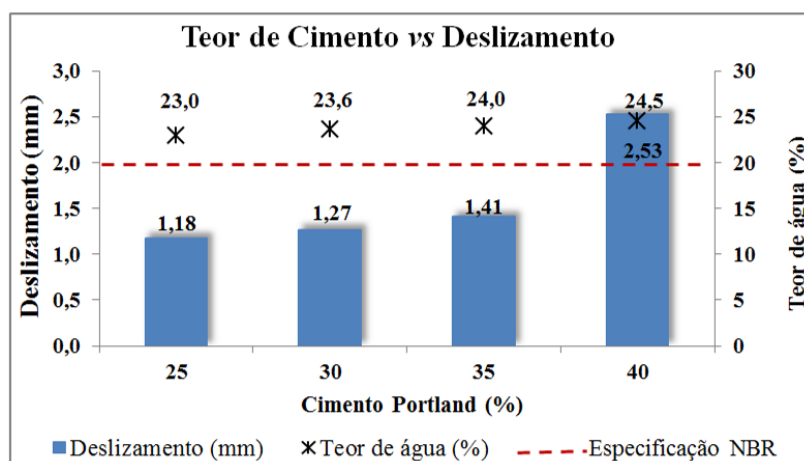


Figura 52 - Influência do teor de cimento sobre o deslizamento

Observando a Figura 52 nota-se que para cada teor de cimento foi utilizado um teor de água, essa quantidade de água para cada formulação foi estabelecida segundo análises experimentais, avaliando-se a trabalhabilidade da argamassa quando se estendia o cordão sobre o substrato padrão, considerando-se como parâmetro o desempenho adequado e simultâneo nos ensaios e deslizamento e *quick open time*. Com isso, verificou-se que foi necessário aumentar o teor de água em torno de 1,5% para o aumento do teor de cimento de 25% para 40%. No entanto, argamassas com maiores teores de cimento e relativamente de

água apresentaram-se com menor resistência ao deslizamento, devido à maior quantidade de pasta disponível que envolve os grãos de areia, o que proporcionou maior lubrificação e movimentação entre os mesmos e, conseqüentemente, um maior deslizamento. Porém menor relação a/c foi alcançada nas formulações com maiores teores de cimento o que pôde contribuir na resistência de aderência da argamassa, a ser discutida na sequência.

Das quatro formulações apenas a argamassa com 40% de cimento não atendeu ao requisito normativo de deslizamento ( $\leq 2$  mm), pois seu deslizamento foi de 2,53 mm. Cabe destacar que o teor de água adotado poderia ter sido inferior a 24,5% a fim de obter um deslizamento inferior ao obtido, mas nesse caso a trabalhabilidade da argamassa seria afetada negativamente, ou seja, observou-se maior dificuldade no manuseio e aplicação da argamassa, então se optou em trabalhar com esse teor de água de 24,5%, mesmo a argamassa não atendendo ao requisito de deslizamento.

#### 4.1.2 *Quick Open Time* – Tempo em aberto rápido

O ensaio de *Quick Open Time* auxiliou juntamente com o ensaio de deslizamento na definição do teor de água para cada formulação e, também na avaliação da influência do teor de cimento na capacidade adesiva da argamassa no estado fresco em relação ao seu tempo estendido. A partir de cinco minutos em que argamassa entrou em contato com a placa, foi realizado o assentamento da peça cerâmica (5x5 cm) de cinco em cinco minutos durante um tempo estendido total de trinta minutos. Porém, essa avaliação foi visual e compreendeu na verificação quanto ao preenchimento total (100%) do tardo da placa cerâmica até os vinte minutos de tempo estendido.

A Figura 53 mostra a área de cobertura no tardo da peça cerâmica em função do tempo. Onde nota-se que todas as formulações apresentaram bom preenchimento da argamassa no tardo das peças cerâmicas até 30 minutos após a argamassa estendida no substrato, indicando uma boa adesividade. A argamassa com 40% de cimento não atendeu ao requisito de deslizamento especificado por norma ( $\leq 2$  mm), e também foi a formulação que apresentou menor *quick open time*, pois aos 30 minutos de argamassa estendida sobre o



substrato, tendeu a perder adesividade quando comparada com as demais formulações, pois a área do tardo da peça cerâmica não foi completamente coberta com a argamassa.

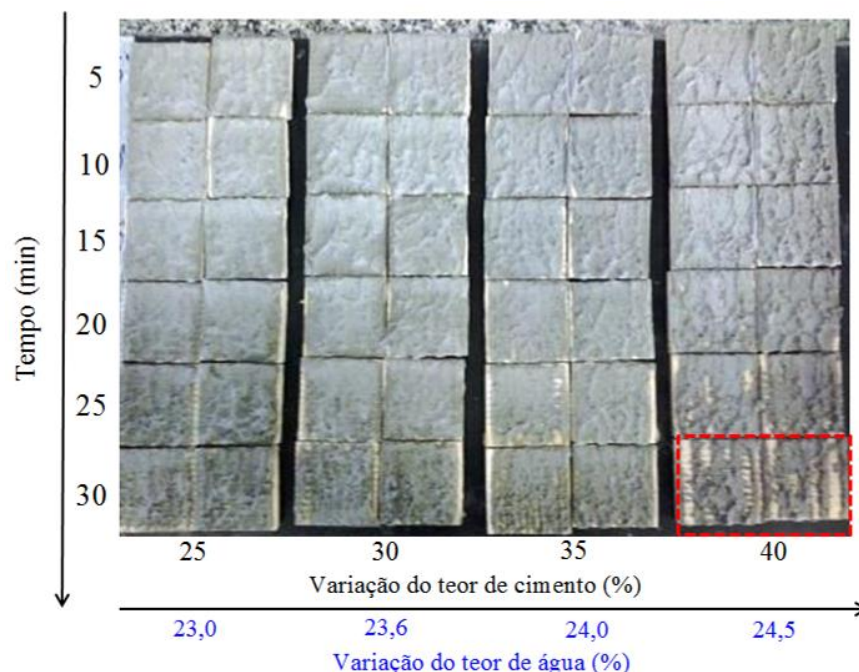


Figura 53 – Quick Open Time *versus* teor de cimento – (parte destacada na figura mostra a formulação que apresentou menor área de cobertura em função do tempo).

Observando a Figura 53, verificou-se que quanto menor a relação a/c para essa formulação, menor foi seu *quick open time* ou tempo em aberto rápido, ou seja, não só a trabalhabilidade foi comprometida, conforme citado anteriormente, mas também a sua capacidade de adesão inicial. Dessa forma, foram consideradas duas justificativas para proceder aos demais ensaios, utilizando-se 24,5% de água para essa formulação com 40% de cimento.

#### 4.1.3 Densidade e Teor de ar incorporado - NBR 13278 (2005)

A Figura 54 ilustra os resultados de densidade e ar incorporado das argamassas com variação do teor de cimento.



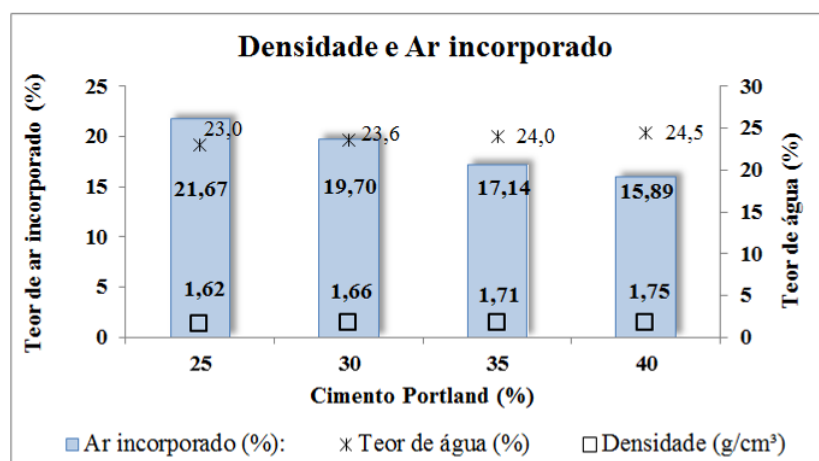


Figura 54 - Densidade e ar incorporado nas argamassas – Primeira Etapa

Os valores de densidade e ar incorporado nas formulações com variação de cimento estão coerentes, pois mostram que quanto mais cimento se tem no sistema, menor é a relação a/c e maior é a densidade e menor será o índice de vazios. Isso ocorre devido às características do cimento, por ser um material fino que em contato com a água reage preenchendo os vazios ao seu redor, formando uma estrutura mais densa e sólida. Observa-se que as argamassas com uma maior relação a/c (25% de cimento = 0,92 a/c e 30% de cimento = 0,79 a/c) apresentaram-se com maior incorporação de ar provavelmente adquirida na mistura devido a maior fluidez dessas argamassas. Já argamassas com menor relação a/c (35% de cimento = 0,69 a/c e 40% de cimento = 0,61 a/c) apresentaram-se mais densas e com menor teor de ar incorporado, essas características podem influenciar fortemente nas propriedades de aderência das argamassas.

#### 4.1.4 Squeeze Flow e Pull out Flow

A Tabela 7 apresenta as formulações propostas para a primeira etapa, e os resultados obtidos das análises iniciais. Por meio do método de Squeeze Flow foi avaliado o comportamento reológico das argamassas a fim de verificar a influência do teor de cimento nesse comportamento.

Tabela 7 – Resultado dos ensaios da primeira etapa das argamassas no estado fresco - variação do teor de cimento (aditivos constantes: 0,20 HPMC; 2,0 VAE).

Identificação	Teor de Cimento (%)	Teor de água (%)	Deslizamento (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Ar incorporado (%):
25 CP	<b>25</b>	23,0	1,18	1,62	21,67
30 CP	<b>30</b>	23,6	1,27	1,66	19,70
35 CP	<b>35</b>	24,0	1,41	1,71	17,14
40 CP	<b>40</b>	24,5	2,53	1,75	15,89

No ensaio de *squeeze-flow* a argamassa é comprimida e, como resposta, deforma-se radialmente. A Figura 55 apresenta a curva de carga versus deslocamento das formulações com variação do teor de cimento.

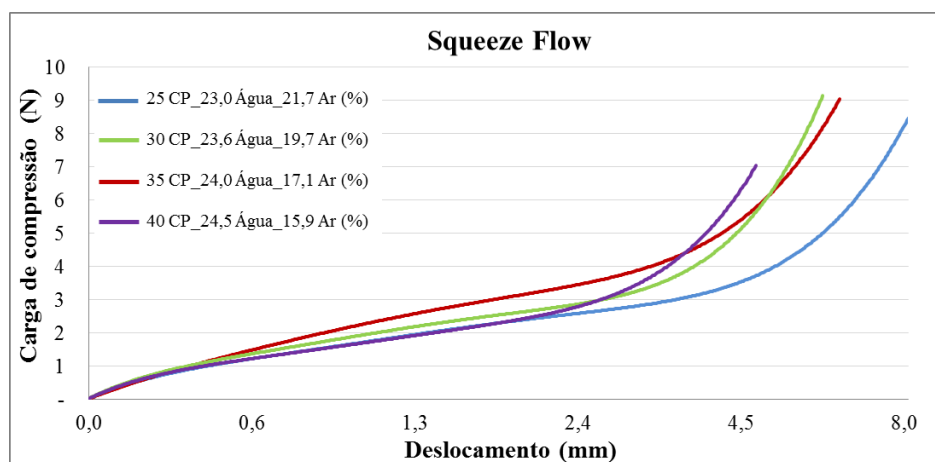


Figura 55 - Curvas de Carga de Compressão versus Deslocamento (taxa de cisalhamento de 0,1mm/s) – Primeira Etapa

Neste processo observa-se que as argamassas apresentaram mesma tendência de curva carga de compressão *versus* deslocamento, sendo que com menos de 0,5 mm de deslocamento as argamassas já começaram a exigir uma força maior para se deformar.

As argamassas com 25 e 40 (%) de cimento apresentaram comportamento plástico muito similar até aproximadamente 2 mm de deslocamento, a partir desse ponto apresentaram comportamento completamente oposto, pois a formulação com menor teor de cimento (25%) se comportou com maior fluidez devido sua maior relação a/c, ou seja, exigiu uma menor carga de compressão para apresentar um maior deslocamento. A

argamassa com maior teor de cimento (40%) e consequentemente menor relação a/c necessitou de cargas maiores para ser deformada em baixos deslocamentos, porém a carga não aumentou expressivamente para deslocamentos maiores.

Conforme foi aumentando o teor de cimento e diminuindo a relação a/c obteve-se mudança na viscosidade das argamassas. Apesar das curvas seguirem a mesma tendência, cada argamassa exigiu uma força de compressão maior para atingir um menor deslocamento. Esses valores aumentaram gradativamente em relação à massa de cimento. A argamassa com menor teor de cimento, recebeu mais água que as demais argamassas, resultando numa pasta com maior fluidez, fácil de se deformar. No caso das argamassas com maior teor de cimento apresentaram uma menor relação a/c, provocando argamassas com uma menor trabalhabilidade. Na prática isso resulta em uma argamassa com maior dificuldade de espalhamento e formação dos cordões sobre o substrato.

Foi observado também que a incorporação de ar nas argamassas no estado fresco teve um efeito relevante na viscosidade das argamassas, pois quanto maior o teor de ar incorporado na mistura maior foi a fluidez das argamassas. Segundo CARDOSO (2009) o teor de ar incorporado no sistema acomoda as partículas de agregados numa matriz fina, que tem uma característica compressível e elástica, diminuindo assim o atrito entre as partículas, contribuindo para o espalhamento da argamassa e aumentando sua coesão.

Nota-se também que o perfil reológico obtido da argamassa com 40% de cimento está de acordo com a maior dificuldade na trabalhabilidade observada anteriormente, na preparação do substrato padrão para os ensaios de deslizamento e *quick open time* (item 4.1.1 e 4.1.2), ou seja, de um modo geral quanto maior foi o teor de cimento, e menor a relação a/c, houve uma queda na trabalhabilidade das argamassas, elas apresentaram uma menor deformação quando sujeitas a um mesmo esforço, isso mostra que o baixo teor de pasta influencia na movimentação dos grãos provocando um maior atrito entre eles e impedindo-os que se movimentem com a mesma facilidade do que argamassas com maior fluidez (maior relação a/c).

Após o ensaio de *squeeze flow* foi avaliada a capacidade de adesão inicial das argamassas, dados obtidos no mesmo corpo de prova, porém o comportamento é avaliado a partir do momento no qual o punção chega à carga máxima de compressão e começa a retornar ao estágio inicial do ensaio, exercendo com isso uma força de tração na amostra conforme ilustrado na Figura 56.

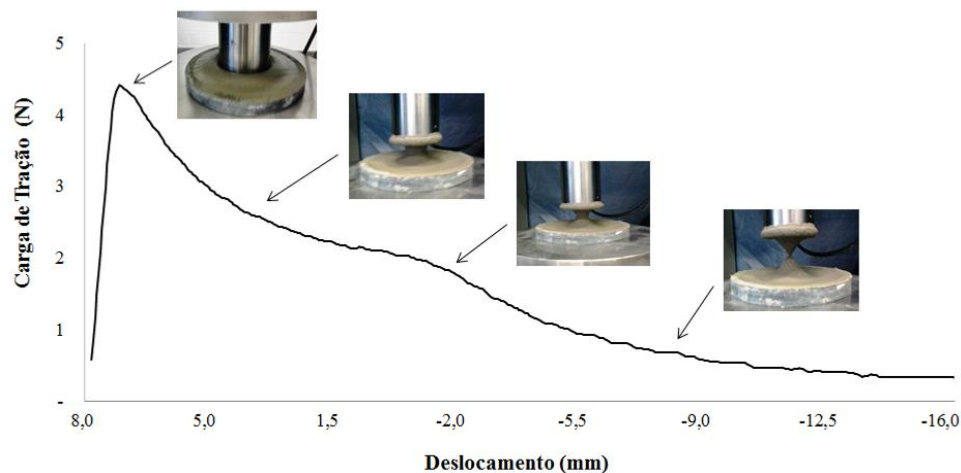


Figura 56 - Ensaio de Pull Out Flow (adaptado de KUDO, 2012)

A Figura 57 apresenta as curvas de carga de tração aplicadas nas argamassas no estado fresco.

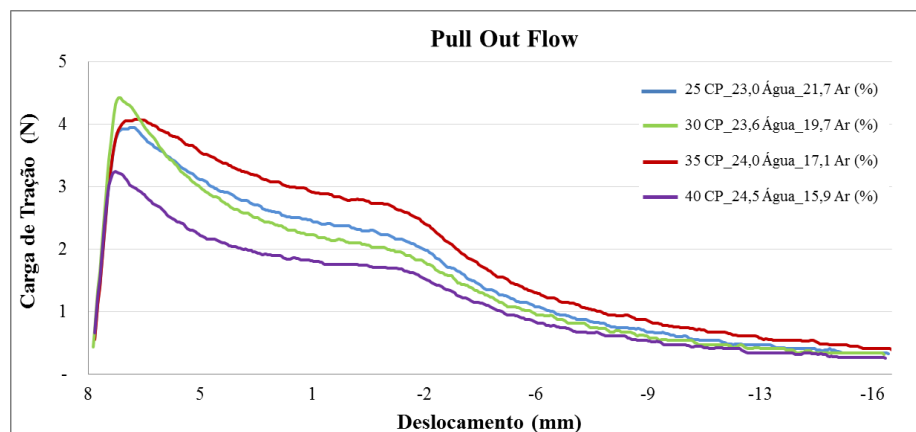


Figura 57 – Sequência do ensaio, puxada da profundidade de 8 mm na velocidade 0,1mm/s – Primeira Etapa

Acredita-se que essa argamassa obteve o teor de água ideal, ou seja, uma boa relação a/c para apresentar bom desempenho no estado fresco e endurecido. Analisando a

Figura 57, nota-se que todas as curvas apresentaram a mesma tendência de comportamento. As argamassas com 35 e 40 % de cimento foram as que apresentaram as maiores diferenças entre si, pois a formulação com maior teor de cimento e menor relação a/c exigiu uma carga menor para se deformar e romper o fluxo. Através dessa análise a argamassa com 35% de cimento se mostrou com maior capacidade adesiva no estado fresco, na prática essa argamassa irá apresentar maior dificuldade para romper os cordões da argamassa após o assentamento da peça sobre a camada de argamassa. Isso possibilita em uma argamassa com maior resistência de aderência, pois sua adesividade proporciona uma melhor colagem da cerâmica ao substrato, evitando possíveis descolamentos, ou seja, falha de aderência em placas de revestimentos cerâmicos assentados em paredes e pisos.

Os resultados obtidos nesse item mostraram a influência do teor de pasta no comportamento reológico das argamassas, pois conforme aumentou o teor de cimento, menor foi a relação a/c, diminuindo a fluidez do sistema. Com isso, foi perceptível o aumento da consistência, deixando a argamassa mais seca e pesada, conforme verificado no ensaio de Squeeze Flow, onde essa menor trabalhabilidade é representada pelo aumento de carga de compressão, para obter um menor deslocamento. Na prática, essa argamassa deve apresentar maior dificuldade de espalhamento, vai exigir uma força maior do pedreiro para exercer a aplicação sobre o substrato e formação dos cordões

#### 4.1.5 Determinação da Resistência de Aderência à Tração – NBR 14081-4 (2012)

Os valores apresentados na Figura 58 correspondem a uma média de vinte corpos de prova por argamassa, onde esta mostrando a faixa de variação desses valores, considerando o valor mínimo e máximo de aderência à tração (MPa). Os dados foram tratados estatisticamente seguindo os parâmetros da NBR 14081-1 (2012), a qual especifica que placas com 10 corpos de prova que apresentarem valores com uma variação de 20% acima ou abaixo da média final, devem ser desconsideradas da média e se houver mais de cinco (5) valores com essa variação, o ensaio deve ser repetido.

A Figura 58 ilustra os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas formuladas com variação do teor de cimento, os teores de polímeros se mantiveram

constantes (0,20 HPMC e 2,0 VAE), e o teor de água foi definido conforme desempenho apresentado no item 4.1.1, os valores se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Formulações da primeira etapa - Variação do Cimento na resistência de aderência

Identificação	Teor de Cimento (%)	Teor de água (%)	Relação a/c
25 CP	<b>25</b>	23,0	0,92
30 CP	<b>30</b>	23,6	0,79
35 CP	<b>35</b>	24,0	0,69
40 CP	<b>40</b>	24,5	0,61

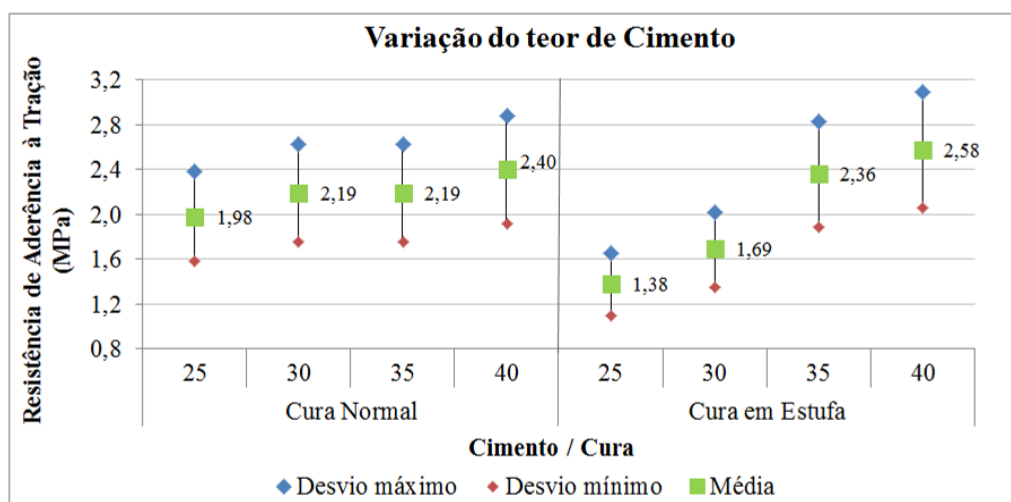


Figura 58 - Resultados de aderência das argamassas com variação do teor de cimento – Primeiro Etapa

Os resultados obtidos nessa análise foram de ordem crescente em relação ao aumento do teor de cimento, o que deixa visível a influência do cimento na resistência de aderência das argamassas submetidas principalmente para cura térmica em estufa. A argamassa com 40% de cimento apresentou um volume de 60% a mais de cimento em relação à argamassa com 25%, isso resultou em um ganho de 87% de resistência de aderência na cura térmica.

Como consequência do aumento de cimento nas formulações, têm-se a menor quantidade de ar incorporado e menor relação a/c, fatores que influenciam diretamente no desempenho do estado endurecido de materiais como concretos e argamassas.

Para os resultados de cura normal observa-se também que conforme aumenta o teor de cimento aumenta os resultados de resistência de aderência, porém esse ganho de resistência não é tão representativo como foi para cura térmica, pois se obteve um ganho máximo de 20% de resistência variando de 40 a 25% de cimento na cura normal, ou seja, 60% a menos de resistência para mesma argamassa, porém submetidas em diferentes condições de cura.

Os valores de cura normal ajudam a verificar que para cura em térmica a resistência de aderência das argamassas não foi prejudicada pelo efeito da temperatura, e quanto maior o teor de cimento, maior é a aderência da argamassa nessa condição.

#### **4.1.6 Conclusão da Primeira Etapa**

Com base nos resultados obtidos nessa primeira etapa, nota-se que o teor de cimento na composição das argamassas apresentou um efeito totalmente significativo nas propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Foi verificado que conforme se aumentou o teor de cimento nas formulações, exigiu-se uma maior demanda de água para atingir uma boa trabalhabilidade, medida através da formação dos cordões sobre o substrato, porém a relação a/c foi menor. Argamassas com maior teores de cimento, apresentaram maior teor de pasta.

Em relação à trabalhabilidade das argamassas, foi observado no manuseio que maiores teores de cimento representaram redução da trabalhabilidade, mesmo com o teor de água sendo aumentado conforme a proporção do cimento obteve-se uma baixa relação a/c. Esse comportamento também foi constatado nos ensaios de densidade e ar incorporado, que mostraram que as argamassas com maiores teores de cimento e menor relação a/c, são mais pesadas, mais coesas, e com a consistência mais seca.

No entanto, as análises de *Squeeze Flow* mostraram esse mesmo comportamento, confirmando que as argamassas com maiores teores de cimento e menor relação a/c apresentam maior viscosidade, resultando em uma argamassa com maior dificuldade de fluir e se deformar, na prática isso implica em uma argamassa mais pesada com maior

dificuldade de espalhamento e formação dos cordões. Já a Tabela 9 apresenta a média dos 20 corpos de prova, analisados no ensaio de resistência de aderência à tração.

**Tabela 9** – Resultados de resistência de aderência à tração da primeira etapa.

Teor de Cimento (%):	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
Cura Normal (MPa):	1,98	2,19	2,19	2,40
Cura Térmica (MPa):	1,38	1,69	2,36	2,58

Analisando-se os dados da Tabela 9, nota-se que para cura normal o aumento do cimento não representou ganho significativo para a resistência da argamassa, pois de 25% para 40% de cimento obteve-se um ganho de 21% na cura normal. Todavia para cura térmica em estufa que é o foco da pesquisa, houve um ganho de 87% de resistência de aderência, ou seja, o teor de cimento e a baixa relação a/c apresenta uma importância expressiva na resistência de aderência das argamassas.

Contudo, pode-se concluir que o teor de cimento e menor relação a/c na composição das argamassas colantes, contribui para um maior desempenho no estado endurecido das argamassas, influenciando diretamente na resistência de aderência das argamassas colantes, fortalecendo a ligação entre a argamassa e substrato, aumentando a durabilidade dos revestimentos assentados.

No entanto, essa menor relação a/c prejudica o desempenho no estado fresco, considerando o comportamento reológico, deslizamento e adesão inicial, conforme observado na formulação com 40% de cimento. Tendo como base os resultados de ensaio dessa primeira etapa mostra que o teor de cimento ideal utilizado nesse estudo para argamassas colantes apresentar bom desempenho é em torno de 35% em relação ao volume total sem alterar o teor de aditivos.

#### **4.2 Resultados da segunda etapa – Avaliação do impacto dos aditivos poliméricos nas propriedades das argamassas colantes.**

Seguindo a metodologia proposta no trabalho, serão apresentados os resultados obtidos na segunda etapa, onde o objetivo foi selecionar dois teores de cimento da primeira



etapa e variar os teores de aditivos poliméricos (HPMC e VAE) para verificar seu impacto nas propriedades das argamassas colantes.

Foi definido utilizar o teor de 25% de cimento devido ser o menor teor cimento, e 35% devido apresentar um ganho significativo na resistência de aderência à tração na cura térmica de 40% em relação a argamassa com 30% de cimento. E apenas uma diferença de 9% em relação a formulação com maior teor de cimento (40% de cimento).

Embora o teor de 40% de cimento na composição da argamassa tenha apresentado maior resistência de aderência na cura térmica, esse desempenho não foi tão significativo em relação a argamassa com 35%, conforme visto no parágrafo, o ganho na resistência de aderência à tração na cura térmica, foi de apenas 9%. Outro fator que se optou em não trabalhar com esse teor na segunda etapa, devido ao efeito que se obtém com um maior teor de cimento nas propriedades da argamassa no estado fresco (maior viscosidade; maior deslizamento; menor quick open time; maior densidade).

#### 4.2.1 Determinação do Deslizamento - NBR14081-3 (2012)

Para a primeira etapa o ensaio de deslizamento foi aplicado com objetivo de definir o teor de água para cada formulação. Partindo dos resultados da primeira etapa verificou-se a possibilidade de fixar um único teor de água para todas as formulações.

No entanto, na segunda etapa os ensaios de deslizamento e *quick open time*, foram aplicados para avaliar como cada formulação comportava-se com o mesmo teor de água (23%), e cerca de 80% das formulações apresentaram bom desempenho. Apenas três formulações não atenderam ao requisito de deslizamento  $\leq 2$  mm, mesmo assim optou-se em trabalhar com esse teor de 23% para todas as argamassas a fim de eliminar uma variável do estudo. As Figuras 59 e 60 apresentam os valores de deslizamento das formulações com variação dos polímeros (HPMC e VAE) em dois teores de cimento fixos (25 e 35%).

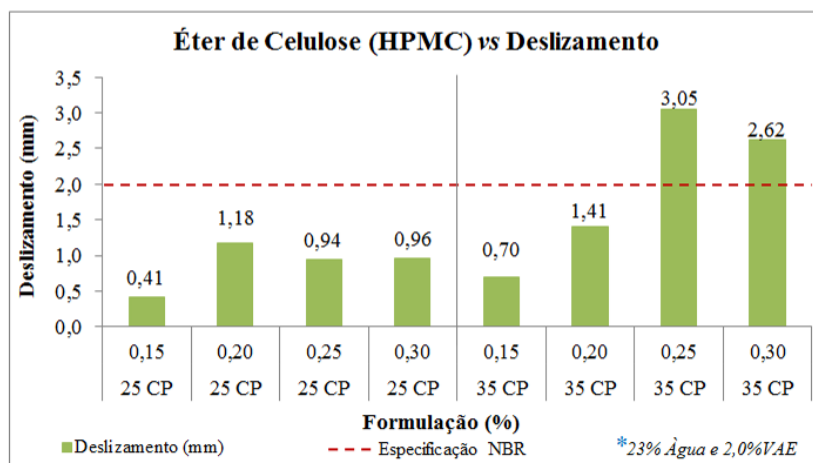


Figura 59 - Éter de Celulose (HPMC) *versus* Deslizamento – Segunda Etapa

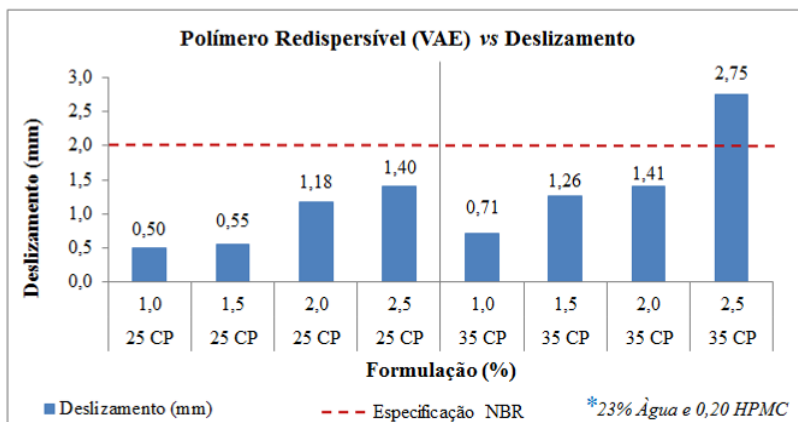


Figura 60 - Polímero Redispersível *versus* deslizamento

Considerando os valores obtidos do ensaio de deslizamento, nota-se que o maior efeito dos aditivos nessa propriedade se deu com as formulações que continham maior teor de cimento 35% (35 CP). Segundo PILLEGI, (2001) isso ocorre, pois na medida em que se aumenta o teor da matriz, o fluido escoar com maior facilidade, pois diminui o atrito entre os grãos de agregados e a fluidez passa a ser governada pela viscosidade da matriz.

A variação dos teores dos aditivos resultou em uma alteração no desempenho das argamassas ao deslizamento, ficando claro que conforme se aumenta os teores de polímeros seja o HPMC ou o VAE das formulações com 35% de cimento, diminui-se essa resistência

ao deslizamento chegando aproximadamente 400% variando do teor maior para o menor (HPMC: 0,30% - 0,15% e VAE: 2,5% - 1,0%).

#### 4.2.2 Quick Open Time – Tempo em aberto rápido

No ensaio de quick open time todas as argamassas apresentaram boa adesão inicial, cerca de 75% das formulações apresentaram preenchimento de 100% de argamassa no tardo da peça cerâmica ao tempo estendido de até 20 minutos. No entanto, observou-se que as formulações com maiores teores de éter de celulose HPMC (0,25 e 0,30% EC) apresentaram menor área de cobertura no tardo da placa cerâmica em função do tempo ou menor “quick open time”. As Figuras 61 e 62 ilustram o comportamento das formulações com variação dos polímeros (HPMC e VAE) em dois teores de cimento fixos (25 e 35%), onde os destaques em vermelho mostram a perda do quick open time em função do tempo.

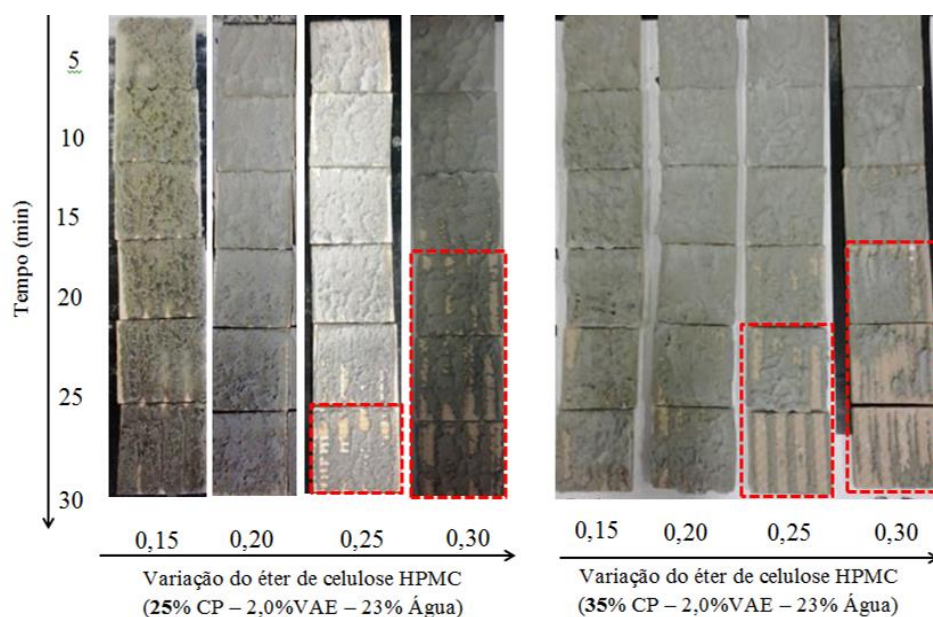


Figura 61 - Quick Open Time *versus* teor de Éter de celulose HPMC – (parte destacada na figura mostra as formulações que apresentaram menor área de cobertura em função do tempo).

Para as formulações com variação do polímero redispersível (VAE), não notou-se influência do polímero nesse desempenho da argamassa. As argamassas que apresentaram uma menor cobertura na área do tardo da peça cerâmica, foram influenciadas pela sua

maior viscosidade, o que prejudicou o espalhamento da argamassa na interface do substrato com a peça cerâmica. Porém no caso dessas formulações com variação do VAE, acredita-se que as formulações que apresentaram menor cobertura, foram mais influenciadas pela sensibilidade da análise, bem como, temperatura, umidade, substrato, analista, etc... do que pela própria influência do polímero.

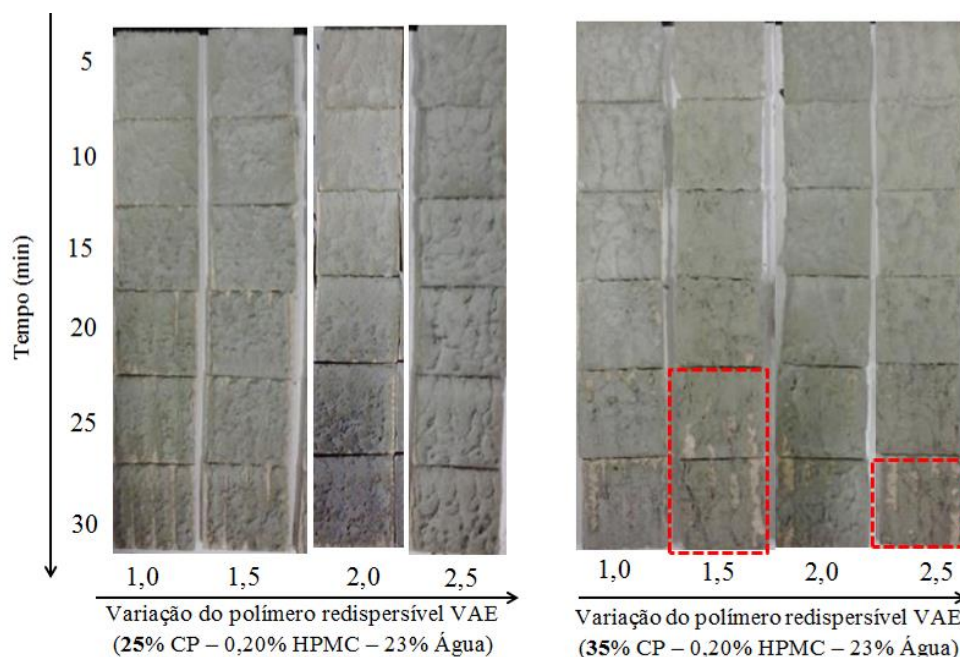


Figura 62 - Quick Open Time *versus* Polímero Redispersível VAE – (parte destacada na figura mostra as formulações que apresentaram menor área de cobertura em função do tempo).

#### 4.2.3 Densidade e Teor de ar incorporado - NBR 13278 (2005)

Com base nos dados apresentados na Figura 63 nota-se que os valores obtidos estão de acordo com o que foi encontrado na bibliografia, que os polímeros empregados nas argamassas colantes têm finalidade de incorporação de ar, fazendo com que as argamassas apresentem alto teor de ar incorporado no estado fresco e baixa densidade (KUDO, 2012).

A Figura 63 e 64 apresenta os valores de densidade e ar incorporado obtidos com as formulações com variação dos polímeros (HPMC e VAE) em dois teores fixos de cimento (25 e 35%).

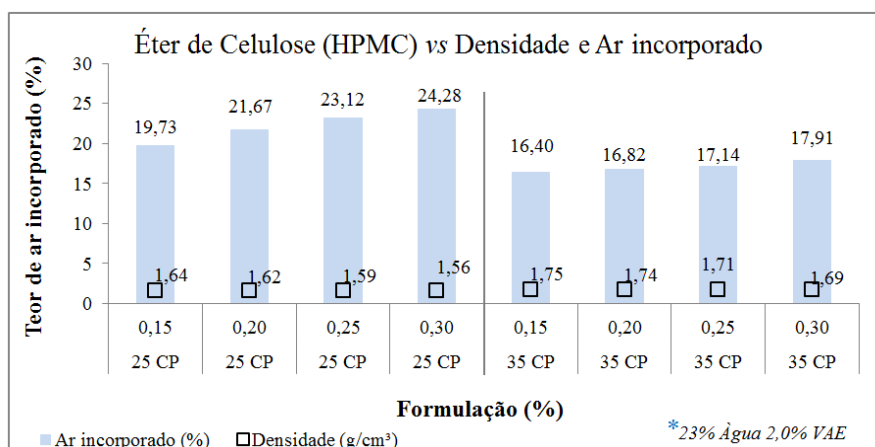


Figura 63 - Éter de celulose (HPMC) *versus* Densidade e Ar incorporado

Apesar das variações serem pequenas, pode-se observar na Figura 63, a influência do éter de celulose (HPMC) na densidade e teor de ar incorporado nas argamassas, devido o efeito tensoativos dos aditivos, e o procedimento de mistura das argamassas.

Porém para as argamassas colantes analisadas nesse trabalho, esse efeito não se adequou, devido o efeito do éter de celulose (HPMC) modificar a viscosidade do meio aquoso, acarretou em argamassas mais viscosas, mais pesadas consequentemente menos trabalháveis, e esse comportamento foi observado no ensaio de squeeze flow, descrito no item 4.2.4.

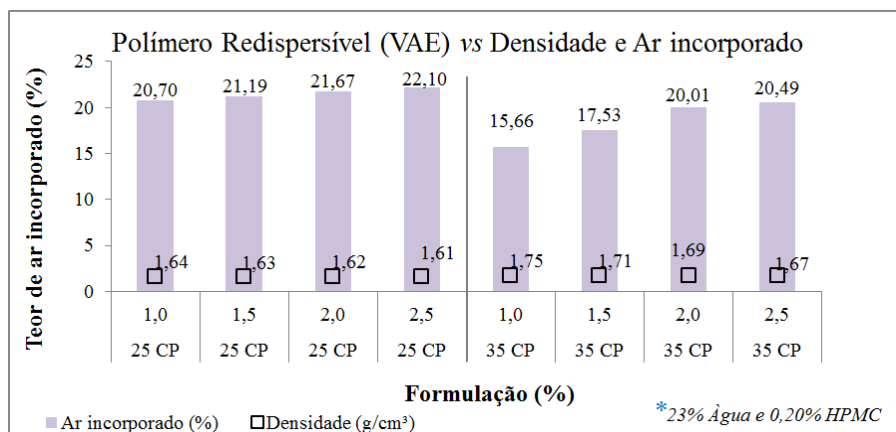


Figura 64 - Polímero Redispersível (VAE) *versus* Densidade e Ar incorporado

Para as argamassas com variação no polímero redispersível VAE, conforme se aumentou o teor de polímero e consequentemente o teor de ar incorporado, as argamassas

tenderam a apresentar uma boa trabalhabilidade, se deformando com mais facilidade, apresentando uma consistência mais leve para manuseio, conforme observado na aplicação das argamassas e o mesmo foi identificado nas análises de Squeeze Flow apresentadas no item a seguir.

#### 4.2.4 Squeeze flow e pull out flow

O efeito dos polímeros no comportamento reológico das argamassas é observado através das análises de *squeeze flow* e *pull out flow* apresentados na sequência. A Figura 65 apresenta o perfil reológico das argamassas formuladas com 25% de cimento e variando os teores de éter de celulose obtidos através da carga de compressão nas argamassas no estado fresco.

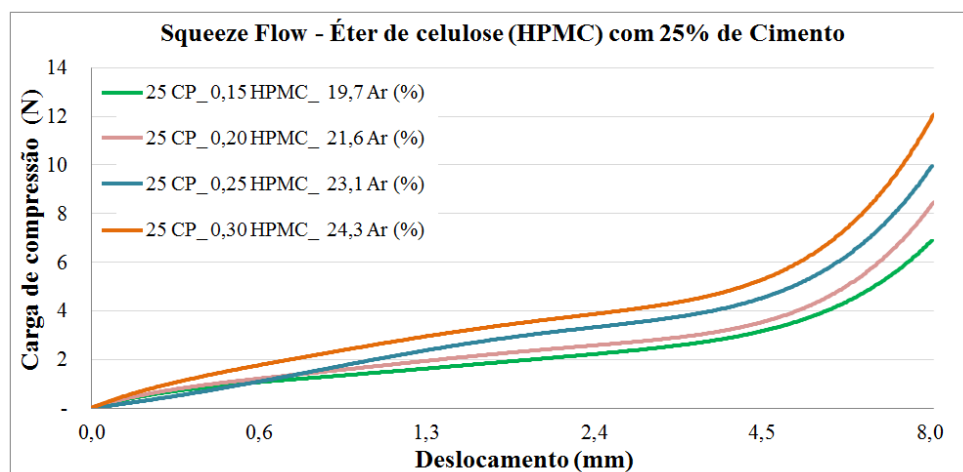


Figura 65 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) *versus* Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).

A Figura 65 mostra que quanto maior o teor de éter de celulose maior será a viscosidade da argamassa, dificultando o escoamento do fluido, isso foi observado devido às formulações com maiores teores de éter exigirem uma maior carga de compressão para obter o mesmo deslocamento. Esses dados confirmam a observação realizada na prática, onde houve uma maior dificuldade de manusear e aplicar a argamassa sobre o substrato padrão. Já a Figura 66 ilustra o perfil reológico das argamassas obtido da carga de tração que mostra o potencial de adesão inicial das argamassas no estado fresco.

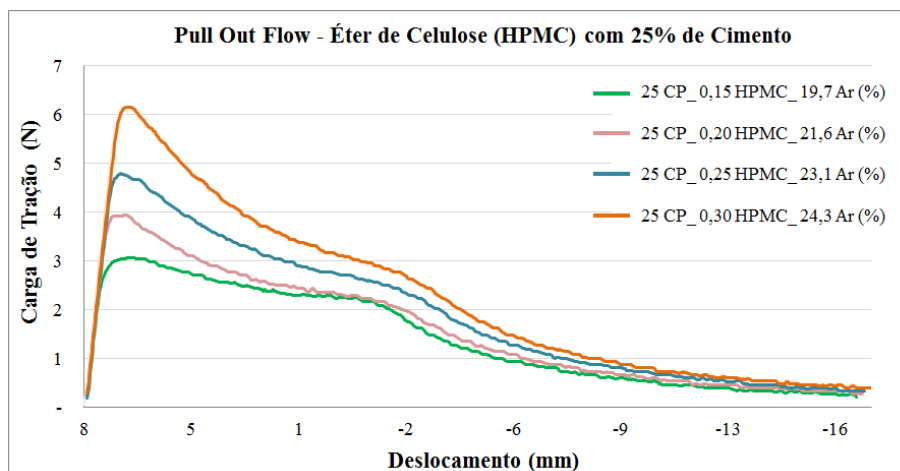


Figura 66 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) *versus* Pull Out Flow (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).

Analisando os picos de tração das argamassas no estado fresco, nota-se que o teor de éter de celulose influencia diretamente na viscosidade das argamassas, pois quanto maior o teor de éter maior é a carga de tração, ou seja, maior é a força exercida para provocar a ruptura dos cordões. A Figura 67 apresenta as curvas das argamassas com 35% de cimento e com variação no éter de celulose.

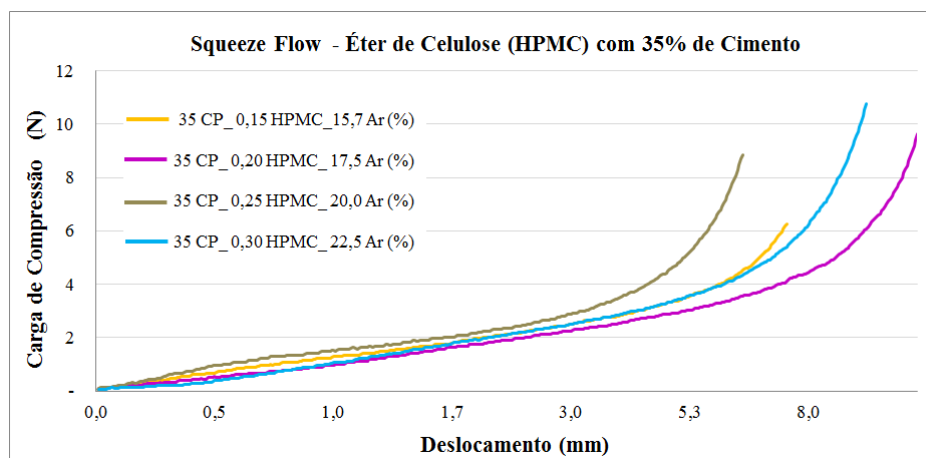


Figura 67 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) *versus* Squeeze Flow (Teores fixos: 35% CP; 2,0 VAE; 23% Água).

Analisando a Figura 67 nota-se que com maior teor de cimento, houve uma pequena mudança no comportamento reológico das argamassas, porém a tendência das curvas em relação às formulações com 25% de cimento continuaram com o mesmo perfil.

A formulação com 0,15% de éter de celulose foi a que apresentou menor viscosidade exigindo uma menor carga para se deslocar, seguiu o mesmo perfil de deslocamento da argamassa com 0,30% porém com uma carga de 4N a menos atingiu seu deslocamento máximo.

Já a formulação com 0,20% de HPMC foi a que apresentou maior fluidez, exigindo uma menor carga para atingir um maior deslocamento. A formulação com 0,25% de HPMC foi a que apresentou maior consistência, demonstrando ter maior dificuldade para se deslocar sobre uma mesma carga. A Figura 68 apresenta o perfil de *Pull out flow* dessas argamassas.

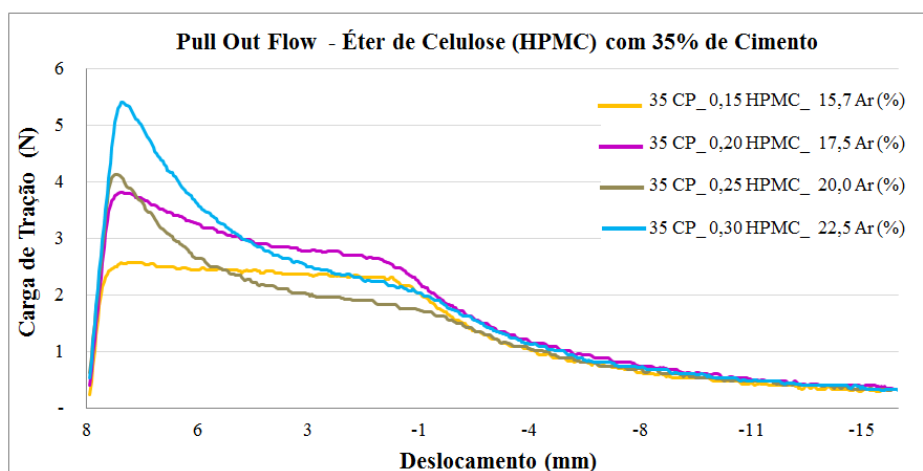


Figura 68 - Efeito do Éter de Celulose (HPMC) *versus* Pull Out Flow (Teores fixos: 35%CP; 2,0 VAE; 23% Água).

Observando a Figura 68, nota-se que apesar do perfil das curvas estarem diferentes do que se foi observado anteriormente às argamassas seguem a mesma tendência de comportamento reológico, quanto maior a concentração de éter de celulose, maior a viscosidade, dificultando a ruptura por tração no estado fresco. No entanto, fica compreensível a influência do éter de celulose na viscosidade das argamassas.

A Figura 69 apresenta o efeito do polímero redispersível (VAE) sobre o comportamento reológico das argamassas com 25% de cimento.



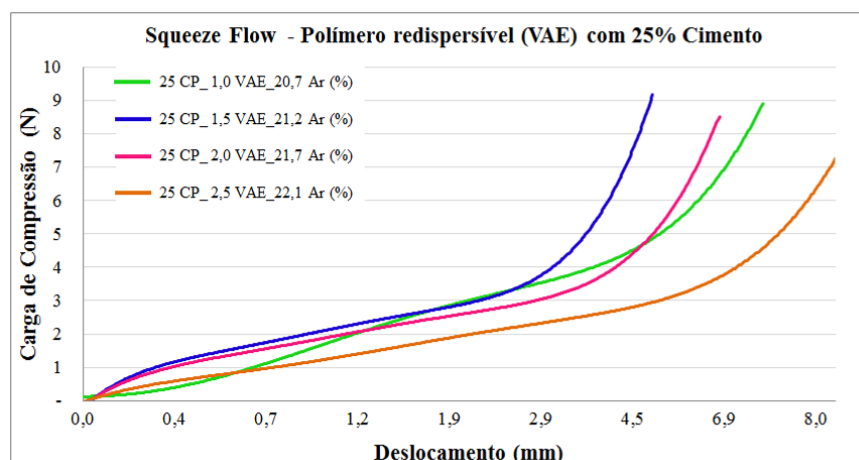


Figura 69 - Efeito do Polímero Redispersível (VAE) *versus* Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20%HPMC; 23% Água).

Com as curvas ilustradas na Figura 69, é possível verificar o efeito do teor de ar incorporado no comportamento reológico das argamassas, pois quanto maior o teor de polímero redispersível maior é a quantidade de ar na mistura, e maior é o deslocamento com a menor carga, ou seja, o VAE contribuiu para que as argamassas apresentassem maior fluidez. Esses resultados estão de acordo com os resultados obtidos no ensaio de deslizamento, pois quanto mais fluida a argamassa se comportou menor foi a resistência ao deslizamento.

Para a análise de tração no estado fresco também se observa o mesmo comportamento, quanto maior o teor de VAE menor é a carga para romper os cordões, apenas a formulação com 1,0% de VAE que não seguiu a mesma tendência, mas acredita-se que isso se deve algum erro de ensaio do que algo relacionado ao próprio comportamento da argamassa (Figura 70). Esses resultados também são possíveis de correlacionar com o quick open time, pois foi observada uma menor capacidade de adesão inicial em argamassas com maiores teores de VAE.

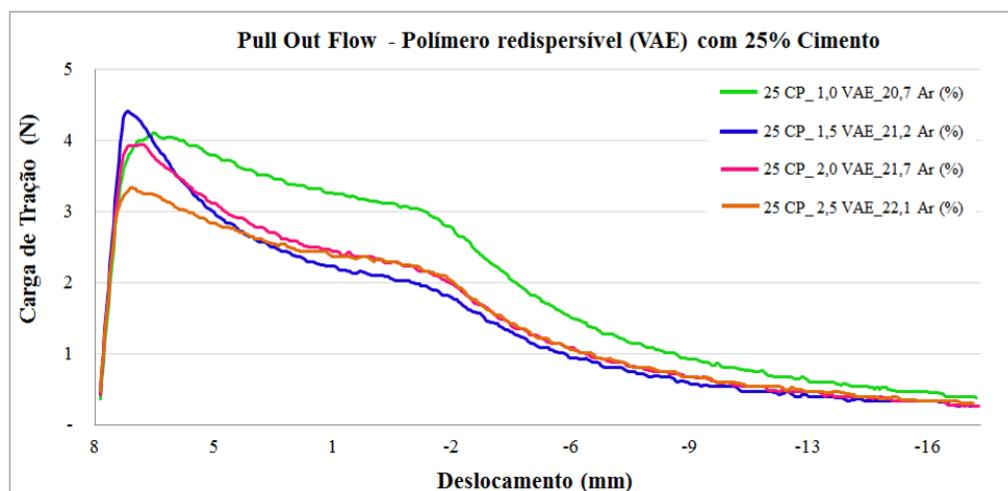


Figura 70 – Efeito do Polímero redispersível (VAE) *versus* Pull Out Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20HPMC; 23% Água).

A Figura 71 apresenta o perfil reológico das argamassas com 35% de cimento e variação do polímero redispersível.

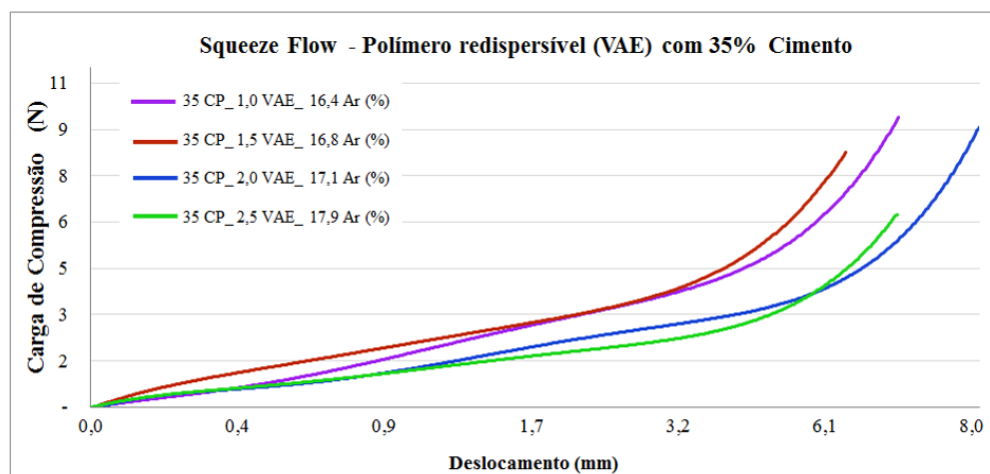


Figura 71 - Efeito do Polímero Redispersível (VAE) *versus* Squeeze Flow (Teores fixos: 25%CP; 0,20%HPMC; 23% Água).

Observa-se que as argamassas tenderam a apresentar o mesmo comportamento reológico. Quanto maior o teor de polímero, maior a facilidade que a argamassa tem para escoar sobre um substrato, menor é a força para aplicá-la e melhor será a formação dos cordões, tudo isso favorecido pela fluidez que a argamassa apresenta, porém deve-se tomar muito cuidado, pois conforme visto anteriormente esse efeito irá ocasionar maior

deslizamento da argamassa, que dependendo de seus fins específicos não se torna recomendável.

Para a análise de *pull out flow* as argamassas com maiores teores de cimento (35%) e variação do polímero redispersível (VAE), obtiveram o mesmo comportamento. Quanto maior o teor de PR maior é a fluidez da argamassa sendo seu potencial de adesividade inicial prejudicado (Figura 72).

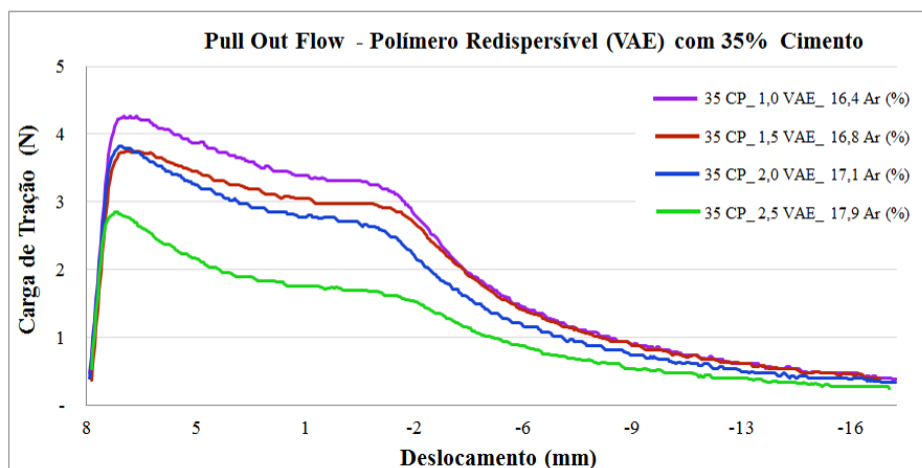


Figura 72 - Efeito do polímero redispersível (VAE) *versus* Pull Out Flow (Teores fixos: 35%CP; 0,20HPMC; 23% Água).

#### 4.2.5 Determinação da Resistência de Aderência à Tração – NBR 14081-4 (2012)

A seguir será apresentado o efeito dos polímeros na resistência de aderência das argamassas, onde foi avaliada a cura normal e cura térmica das formulações que atenderam os requisitos de deslizamento. A Tabela 10 apresenta as formulações que foram eliminadas dessa etapa.

Tabela 10 - Formulações aplicadas à resistência de aderência à tração devida o deslizamento ser > 2mm

Formulação (%):	Deslizamento (mm):
35 CP – 0,25 HPMC – 2,0 VAE	3,05
35 CP – 0,30 HPMC – 2,0 VAE	2,62
35 CP – 0,20 HPMC – 2,5 VAE	2,75

A Figura 73 e 74 apresenta os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas formuladas com variação dos teores de éter de celulose.

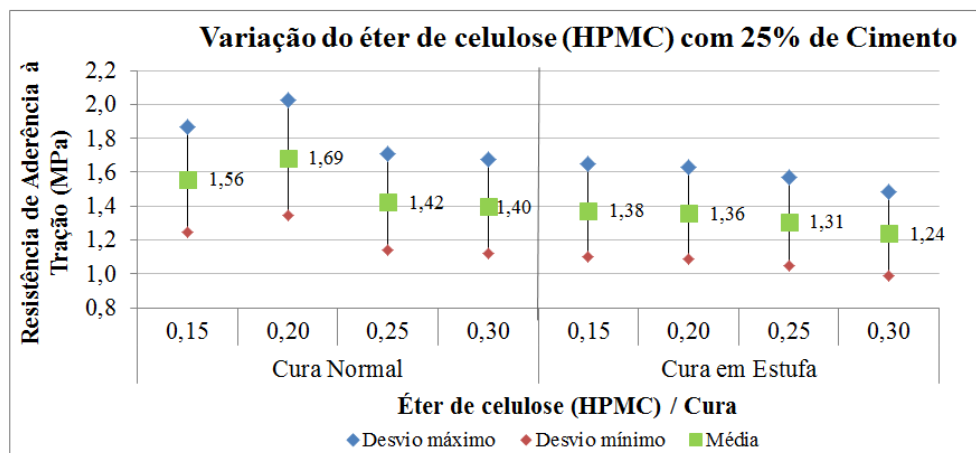


Figura 73 - Efeito do éter de celulose (HPMC) na resistência de aderência (Teores fixos: 25%CP; 2,0 VAE; 23% Água).

Com os dados ilustrados na Figura 73 nota-se que o éter de celulose (HPMC) não proporcionou nenhum ganho significativo para a resistência de aderência à tração, e pelo contrário para cura em estufa esse desempenho tendeu a diminuir conforme aumenta o teor de HPMC na formulação da argamassa.

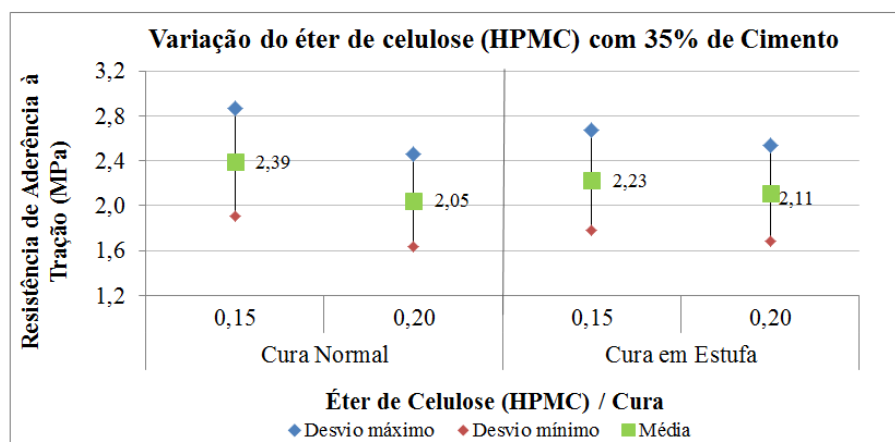


Figura 74 - Efeito do éter de celulose (HPMC) na resistência de aderência (Teores fixos: 35%CP; 2,0 VAE; 23% Água).

Já para as argamassas formuladas com 35% de cimento e que apresentaram variação no teor de éter de celulose, nota-se um desempenho bem superior que se alcança pelo fato

de ter maior teor de cimento na argamassa, aumentando de 25% de cimento para 35% de cimento, teve –se um ganho em cerca de 60% a mais de resistência de aderência, mantendo o mesmo teor de éter (0,15%).

E em relação às curas, observa-se que os resultados obtidos para cura em estufa ficaram bem próximos da cura ao ar, comprovando os resultados obtidos na primeira etapa que, o teor de cimento tem maior influência sobre a temperatura do que o éter de celulose.

Todavia, analisando o desempenho dos dois grupos de formulações com 25 e 35% de cimento com variação no éter de celulose (HPMC), é notável que para a cura em estufa o ideal é utilizar a menor quantidade de HPMC nesse caso 0,15%, pois foram as formulações que apresentaram melhor desempenho para essas condições.

A Figura 75 e 76 apresenta os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas formuladas com variação dos teores de polímero redispersível (VAE).

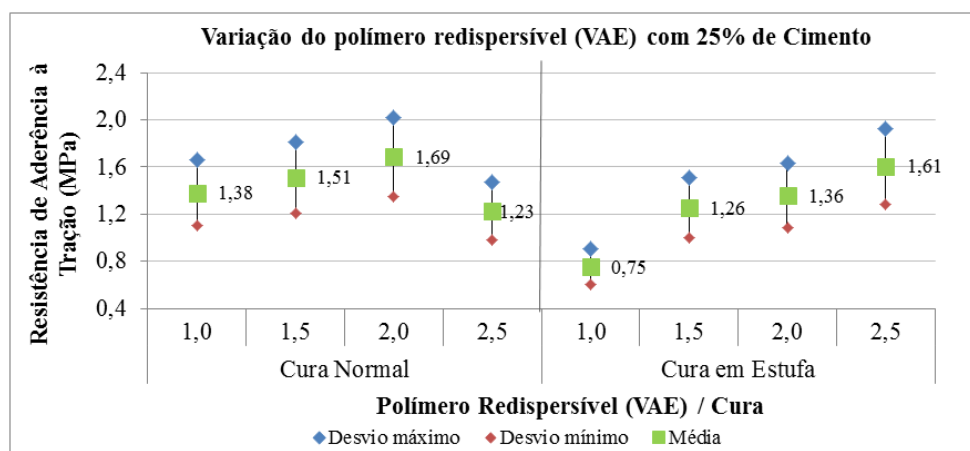


Figura 75 - Efeito do polímero redispersível (VAE) com 25% de cimento na resistência de aderência (Teores fixos: 25%CP; 0,20HPMC; 23% Água).

Comparando as duas condições de cura normal e estufa, nota-se que para a cura em estufa a presença de uma quantidade maior de polímero (VAE) foi fundamental para que as argamassas apresentassem melhor desempenho quando submetidas a essas condições. Inclusive de todas as formulações estudadas foi o único caso que a cura em estufa apresentou uma resistência maior ao arrancamento, onde houve um ganho de 115% em

relação a maior quantidade de VAE (2,5%) para a menor (1,0%). Porém esse ganho é extremamente representativo apenas para a cura em estufa, na cura normal não se observa o mesmo desempenho.

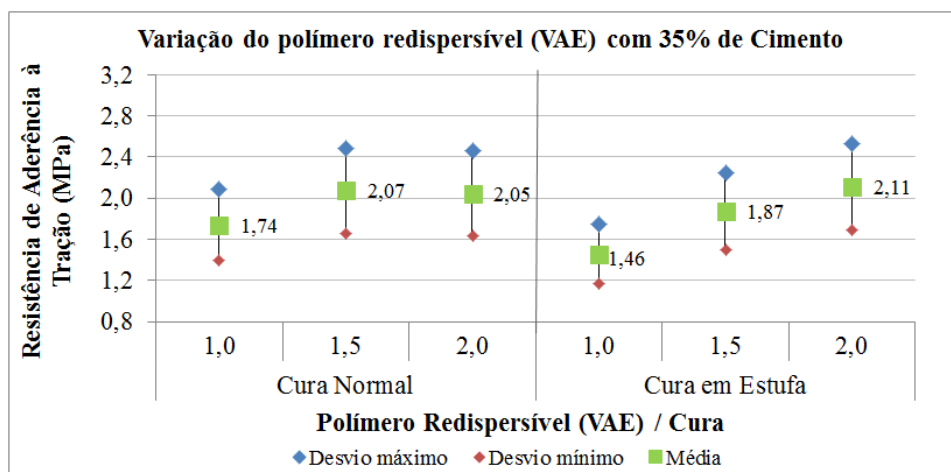


Figura 76 - Efeito do polímero redispersível com 35% de cimento na resistência de aderência

Para as argamassas com maior teor de cimento e variando o VAE, nota-se que o ganho máximo de resistência foi 45%, quando aumentou-se de 1,0 para 2,0% o teor de VAE. Para esse grupo de formulação obteve-se maiores resultados de aderência à tração na cura em estufa devida ao efeito do maior teor de cimento.

O polímero redispersível se mostrou extremamente eficaz em formulações com menores teores de cimento, apresentando um ganho de 81% em relação à mesma quantidade de polímero que para a argamassa com maior teor de cimento apresentou um ganho de 45% (1,0 – 2,0 VAE).

No entanto, analisando apenas os resultados de resistência de aderência à tração verifica-se que o cimento continua sendo o maior influenciador na resistência de aderência das argamassas colantes, pois se utilizando 35% de cimento com um menor teor de VAE (1,5%), obteve um resultado superior a 10% de resistência quando se utiliza 25% de cimento com 2,5% VAE (maior teor de polímero analisada).

De um modo geral, o efeito do VAE na resistência de aderência das argamassas submetidas em cura térmica é extremamente importante, pois o polímero mostrou-se capaz

de suprir a deficiência de aderência encontrada nas formulações submetidas a essas condições, devido suas características específicas. Essa contribuição do VAE foi observada na avaliação da microestrutura observada na terceira etapa do trabalho, onde se verificou mudanças nas fases hidratadas da microestrutura da matriz cimentícia expostas ao calor (item 4.3).

Observando a Figura 77, com foco na cura térmica, verifica-se que o VAE comportou-se como o atuante principal da composição das argamassas, pois conforme foi aumentando seu teor à argamassa sofreu menor impacto da temperatura na sua resistência de aderência, na prática isso resulta em argamassas com maior vida útil. De um modo geral, com os dados obtidos nessa etapa, conclui-se que quanto maior o teor de polímero redispersível, melhor o desempenho das argamassas.

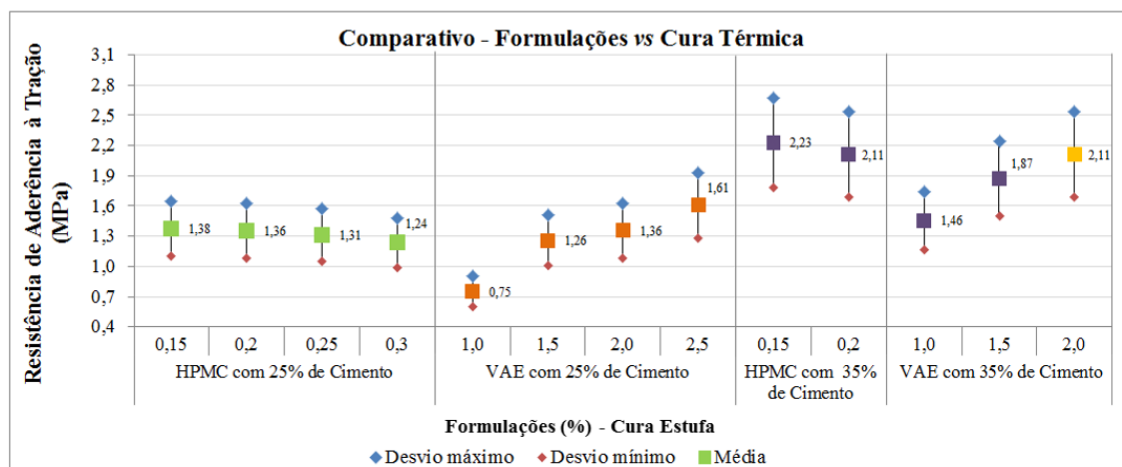


Figura 77 - Resultados de resistência de aderência à tração na cura térmica

#### 4.2.6 Conclusão da segunda etapa

De acordo com o objetivo proposto para a segunda etapa, onde foi avaliado o impacto dos aditivos poliméricos nas propriedades das argamassas colantes, pode-se concluir que:

#### 4.2.6.1 Éter de celulose (*Hidroxipropil-metil-celulose - HPMC*)

O efeito do éter de celulose (HPMC) nas propriedades das argamassas no estado fresco promoveu maior viscosidade nas argamassas, alterando o comportamento reológico das argamassas, de um modo que sua trabalhabilidade fosse comprometida.

Portanto, com o comportamento observado no estado fresco, verificou-se que é necessário utilizar um teor de éter de celulose na composição das argamassas, a fim de proporcionar uma viscosidade adequada, levando em consideração as características de aplicação. Bem como, melhor trabalhabilidade, proporcionar boa formação dos cordões, garantir maior preenchimento na interface do substrato e tardo da placa, maior resistência ao deslizamento.

Com relação ao desempenho obtido na resistência de aderência para cura em estufa, notou-se que o éter de celulose não se mostrou muito eficiente, pois conforme aumentou o sua quantidade na composição da argamassa, menor foi sua resistência de aderência tanto para cura normal, como principalmente para cura em estufa, houve maior impacto de perda de desempenho.

Considerando o efeito obtido do éter de celulose nas propriedades das argamassas colantes, pode-se afirmar que quanto menor o teor desse aditivo, melhor será o desempenho da argamassa, tanto no estado fresco quanto endurecido, fator que contribui para um melhor avaliar o melhor custo/benefício para os fabricantes de argamassas.

#### 4.2.6.2 *Polímero redispersível (vinila acetato de etileno - VAE)*

No estado fresco, o polímero (VAE), proporcionou as argamassas maior fluidez, ou seja, argamassas com maiores teores de VAE tendem a ser mais trabalháveis, necessitam de menos carga para se deformar, na prática isso contribui para um melhor espalhamento sobre o substrato, facilidade na formação dos cordões, e conseqüentemente maior área de contato da argamassa com o tardo da placa, fortalecendo a adesividade nessa interface.



### 4.3 Resultados da terceira etapa – Avaliação da microestrutura das pastas de argamassas através de análises de DRX e MEV.

Para avaliação da microestrutura das pastas de argamassas foram selecionadas sete pastas aditivadas de acordo com os resultados de aderência, e uma pasta pura para utilizar com amostra de referência. As formulações analisadas estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11 - Formulações aplicadas em análise de MEV e DRX.

Identificação	Formulação (%)			
	CPIIF	HPMC	VAE	A/C
25 CP_0, 15 HPMC	25	0,20	2,0	0,46
25 CP_0, 30 HPMC	25	0,30		0,46
35 CP_0, 15 HPMC	35	0,15		0,46
25 CP_0, 20 HPMC	25	0,20	1,50	0,46
25 CP_0, 20 HPMC	25		2,00	0,46
35 CP_0, 20 HPMC	35		1,00	0,46
35 CP_0, 20 HPMC	35		2,00	0,46
PASTA PURA	25	-	-	0,46

As amostras foram submetidas às análises de DRX e MEV após 28 dias de cura nas mesmas condições para a determinação da resistência de aderência (cura normal e cura em estufa).

#### 4.3.1 Resultados de Difração de Raios-X

A Figura 78 apresenta um dos difratogramas típicos obtidos de todas as formulações de pastas de argamassas com a identificação dos principais picos encontrados nas amostras.

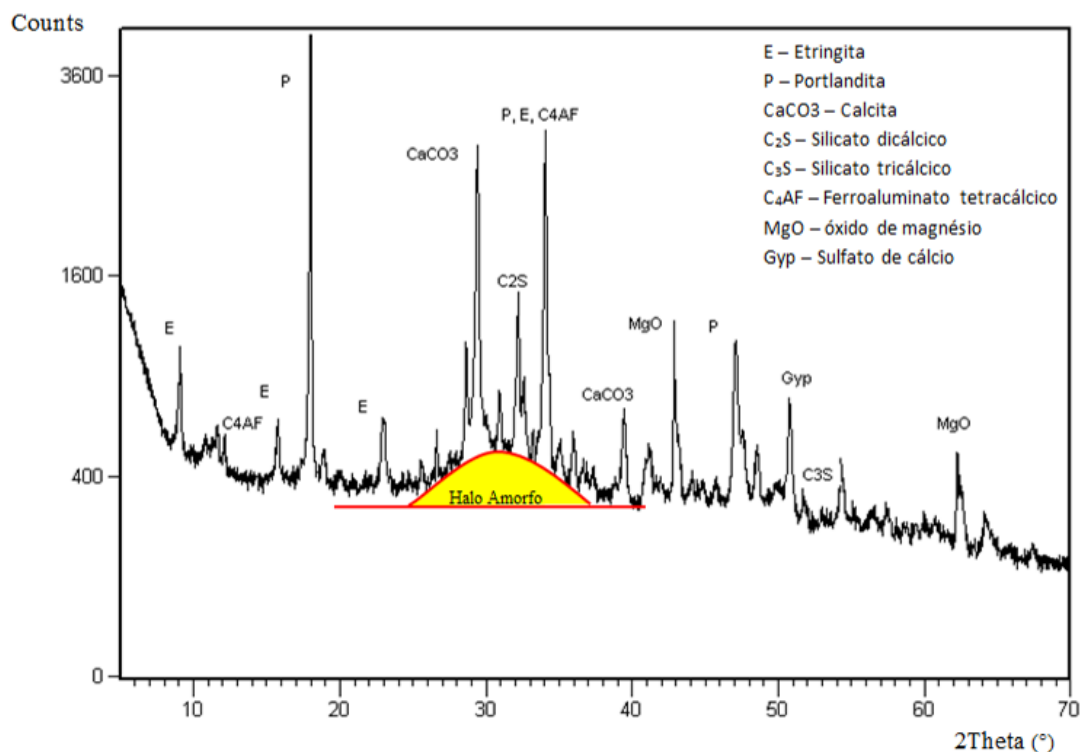


Figura 78 - Difratoograma típico das pastas de argamassas.

Analisando a Figura 78 observa-se que os picos mais intensos identificados no difratograma típico das pastas de argamassa foram dos elementos químicos comum na mineralogia da pasta de Cimento Portland, entre eles: Etringita (E); C<sub>4</sub>AF; Portlandita (P); Calcita, CaCO<sub>3</sub>; C<sub>2</sub>S; Periclásio (MgO); Gypsum; C<sub>3</sub>S.

Não foi possível identificar nenhuma fase da reação dos polímeros com o cimento, tendo em vista que o método utilizado só identifica as fases cristalinas de um sólido. Poderia observar a reação dos polímeros no halo amorfo do difratograma, porém não houve nenhuma variação significativa no halo que pudesse indicar a influência dos polímeros.

De acordo com o objetivo proposto para a terceira etapa era identificar a diferença da condição de cura na mineralogia das pastas, e isso foi alcançado com as análises de DRX, segundo ilustrados nas figuras abaixo.

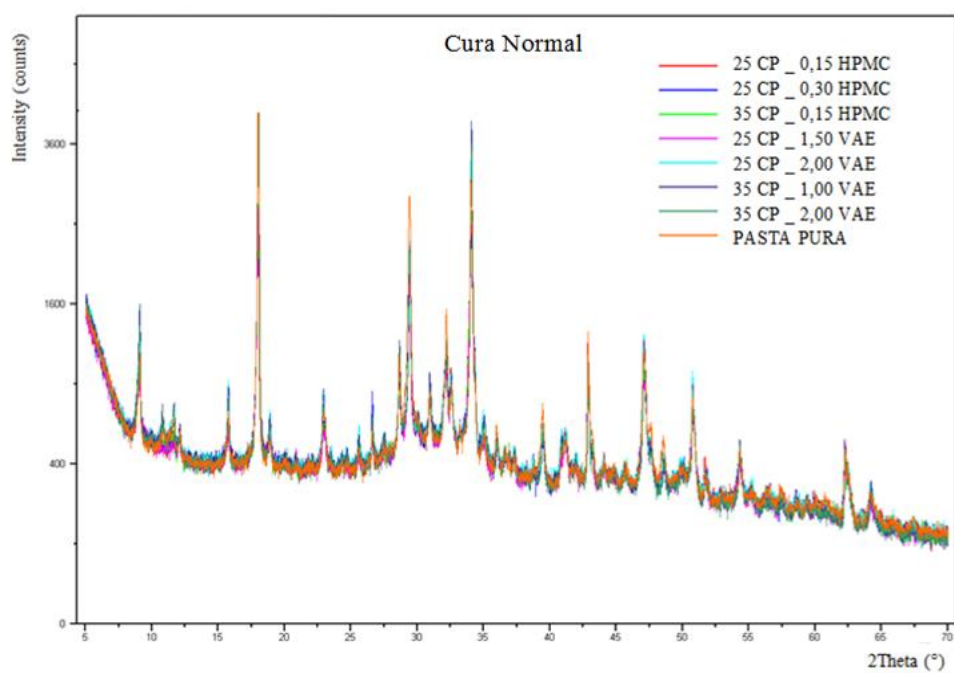


Figura 79 - Difratoograma das pastas submetidas à cura normal.

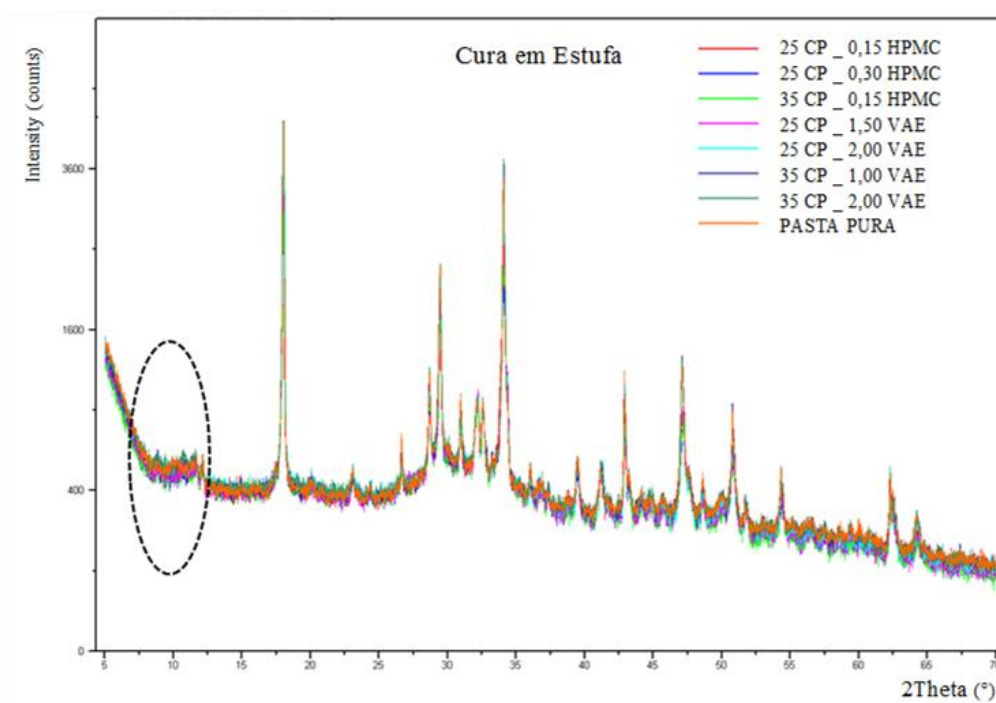


Figura 80 - Difratoograma das pastas submetidas à cura em estufa.

Ao analisar o difratograma como um todo com todas as pastas é possível observar que não houve mudança significativa na mineralogia das pastas de argamassas quando se compara pastas de argamassas com diferentes dosagens de aditivos e cimento. No entanto, se ao comparar amostras em diferentes condições de cura observa-se que o pico principal da etringita ( $9,071^\circ 2\theta$ ) desaparece no difratograma da cura em estufa, isso indica que a temperatura ( $70^\circ\text{C}$ ) provocou a degradação desse mineral.

#### 4.3.2 Análise de imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por dispersão de energia de raio-x (EDS)

Na Figura 81 observa-se a microestrutura de uma pasta aditivada (25 CP + 0,15 HPMC + 2,0 VAE %).

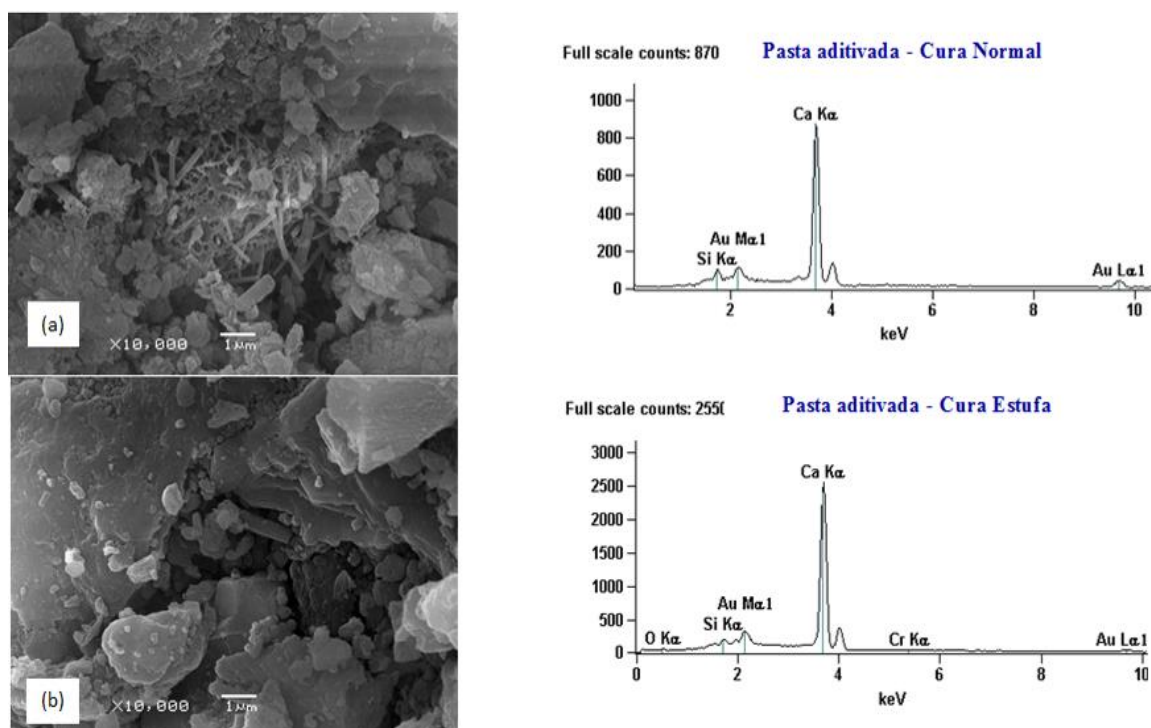


Figura 81 - Pasta aditivada (a) Cura Normal (b) Cura em Estufa.

Na Figura 81 observa-se na imagem (a) cristais de etringita na cura normal, e na (b) para cura em estufa, não se encontra cristais de etringita e sim uma estrutura rica em cálcio, conforme pode observar no espectro ao lado das imagens que apresenta maiores concentrações de cálcio na amostra submetida à cura em estufa.

A Figura 82 apresenta as imagens da pasta pura (cimento + água). No espectro aparecem os picos dos componentes químicos comuns encontrados no cimento, e o pico de maior concentração é de cálcio para pasta pura curada ao ar. Para a pasta pura curada em estufa nota-se apenas uma grande concentração de cálcio.

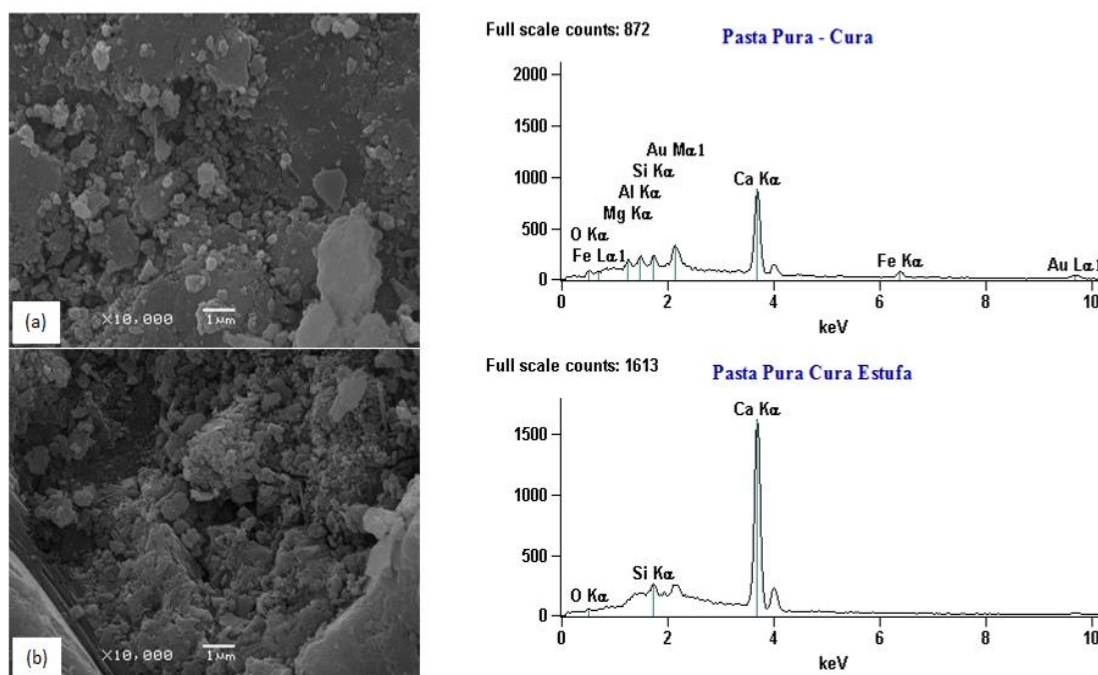


Figura 82 - Pasta pura (a) Cura Normal (b) Cura em Estufa

Com as análises obtidas a partir do MEV-EDS é possível relacionar com os resultados obtidos na análise de DRX que além de observar a mineralogia das pastas, foi observado uma degradação do pico da etringita para pastas curadas em estufa. Nas imagens de MEV nota-se esse mesmo efeito, pastas curadas ao ar, apresentaram cristais de etringita na sua microestrutura e pastas curadas em estufa esses cristais desapareceram prevalecendo uma estrutura rica em cálcio proveniente do cimento.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com o objetivo proposto no trabalho, verificou-se que a composição das argamassas colantes tem grande influência nas suas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os dados obtidos nesse trabalho podem contribuir para o desenvolvimento de formulações de argamassas colantes com maior potencial de durabilidade e melhor custo/benefício. Com as análises obtidas no estado fresco, pode concluir que:

- a) conforme se aumentou o teor cimento e diminui a relação a/c foi proporcionado formulações com menores teores de ar incorporado, maior densidade a fresco, e argamassas mais viscosas, com menor resistência ao deslizamento. Isto é, na prática é ideal que argamassas sejam formuladas com teores ideais de cimento a fim de proporcionar maior facilidade de aplicação, e maior durabilidade, visto que o teor de cimento com uma baixa relação a/c apresentou grande contribuição na resistência de aderência.
- b) O éter de celulose (HPMC) aumentou a viscosidade das argamassas, quando avaliadas pelo método de *squeeze flow*, resultando em argamassas com maior consistência, prejudicando o espalhamento da argamassa sobre o substrato e a formação dos cordões. Considerando que conforme se aumentou o teor de éter, houve maior incorporação de ar e menor densidade das argamassas no estado fresco, não foi observada nenhuma contribuição quanto à trabalhabilidade das argamassas. Devido provavelmente à alta viscosidade das argamassas observadas pelo método do *Squeeze flow* que impediram maior espalhamento da argamassa. Consequentemente, a alta viscosidade da argamassa, atrapalha a trabalhabilidade das argamassas e impedem a movimentação das bolhas de ar dentro do sistema, e a expulsão das mesmas, deixando as argamassas com ar aprisionado e implicando em uma queda no comportamento mecânico, conforme observado no ensaio de resistência de aderência.

- c) O polímero redispersível (VAE) proporcionou as argamassas maior fluidez, o teor de ar incorporado e a menor densidade no estado a fresco, foram observados também no ensaio de *squeeze flow* que quanto mais se aumentava o teor de VAE menor era a força exercida para a argamassa atingir um mesmo deslocamento. O VAE tem maior influência sobre a consistência das argamassas, pois proporciona maior escoamento do fluido e consequentemente boa formação dos cordões, porém as argamassas tenderam a apresentar menor a resistência ao deslizamento. A adesão inicial foi observada tanto no *pull out flow* como no *quick open time*, que se mostrou a diminuir em relação ao maior teor de VAE. E no estado endurecido o teor de VAE foi fundamental para argamassas atingirem boa resistência de aderência principalmente no cura em estufas.
- d) Com base nos resultados obtidos de resistência à aderência com ênfase na cura térmica, foi possível concluir que o cimento e sua baixa relação a/c. mostrou ser fundamental para o desempenho das argamassas colantes submetidas à cura térmica em estufa, apresentando um ganho de 87% de resistência de aderência com um aumento de cerca de 60% do cimento (25 – 40%).
- e) O éter de celulose (HPMC), não contribui para o desempenho na cura em estufa, inclusive conforme foi aumentando seu teor o desempenho das argamassas tenderam a diminuir, tanto para argamassas com 25 e 35% de cimento. Em consequência da relação cimento/polímero ter sido maior para as argamassas com 35% de cimento, nota-se que na mesma proporção de polímero (0,20%), obteve-se um ganho em torno de 60% na resistência.
- f) O polímero redispersível (VAE), foi extremamente eficiente na cura em estufa, apresentando um ganho de 214% em relação ao teor mínimo e máximo (1,0 – 2,5% VAE com 25% de cimento). Para o grupo de formulações com variação no VAE observou-se que a relação cimento/polímero não foi tão importante, pois o VAE foi o precursor para

que as argamassas atingissem bom desempenho nessa condição, isso se afirma, pois com os resultados obtidos de 25 e 35% de cimento, com o mesmo teor de VAE (2,0%), houve um ganho de 36% a mais de resistência com a formulação com menor teor de cimento.

- g) As análises da microestrutura por MEV em paralelo com a DRX permitiram observar e comprovar a formação de determinadas fases nas pastas submetidas em diferentes condições de cura. Foi então visualizado a degradação da etringita sobre o efeito da temperatura na cura em estufa, com isso mostra que o polímero (VAE), é indispensável para que as argamassas apresentem resistência de aderência na cura em estufa. Com base na bibliografia entende-se que essa aderência é atingida por ancoragem química e não mecânica, já que se perde a formação dos cristais de etringita nessa condição.

As conclusões apresentadas, apesar de estar em consonância com a maior parte da bibliografia existente, não devem ser tomadas de forma absoluta, considerando que cada componente da formulação de argamassa colante (cimento, éter e polímero) apresenta características específicas e isso pode variar de acordo com as especificações de cada fabricante.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Com base nos resultados obtidos e as limitações deste, sugere-se:

- Avaliar a resistência de aderência das argamassas colantes sobre diferentes condições de cura térmica, variando a temperatura e ciclagem.
- Estudar a influência do *Pull out flow* no tempo em aberto das argamassas segundo NBR 14081-3 (2012).
- Investigar a microestrutura da argamassa colante mediante a cura térmica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRIDI, M.U.K.; OYAMA, Y.; DEMURA, K.; IQPAL, M.Z. **Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars.** Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 11, November 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** São Paulo, ABCP, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **O cimento no Brasil e no mundo.** São Paulo, ABCP, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **NBR 13277:** Revestimento de paredes e tetos de inorgânicas - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_**NBR 13278:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_**NBR 13817:** Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_**NBR 14081-1:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 14081-2:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 14081-3:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 14081-4:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 14081-5:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 5: Determinação do Deslizamento. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método Squeeze Flow. Rio de Janeiro, 2010.

BAUER, E.; **Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades.** 1. ed. BRASÍLIA: LEM-UnB - SINDUSCON/DF. 2005.

BAUER, E; CASTRO, E. K. **Patologias mais Correntes nas Fachadas de Edifícios em Brasília.** 3º congresso português de argamassas de construção. Lisboa. 2010.

BEELDENS, A. **From Microstructure to Macrostructure: an Integrated Model of Structure Formation in Polymer Modified Concrete.** In: 4th SYMPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE, 2003, Chunchon, Korea. Proceedings. 2003.

BETIOLI, A.M. **Chemical interaction between EVA and Portland cement hydration at early-age.** Construction and Building Materials 23 (2009) 3332–3336

BETIOLI, A.M. **Influência dos polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento portland.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Florianópolis, 2007.

BREA, F.M. **Resistência de aderência e tempo em aberto das argamassas com adição de éteres de celulose.** V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Anais do V SBTA. São Paulo, 2003.

BREA, F.M. **Uma metodologia para o desenvolvimento das formulações das argamassas colantes.** VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Anais do VII SBTA. Recife, 2007.

BREA, F.M.; GUIMARÃES, M.B.; SILVA, C. **Influência de diversos tipos de éteres de celulose nas propriedades das argamassas colantes.** VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Anais do VIII SBTA. Curitiba, 19 a 22 de Maio de 2009.

BUCHER, H. R. E.; NAKAKURA, E. H. **A capacidade de deformação de argamassas colantes a base de cimento Portland.** I SBTA Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do I SBTA. Goiânia, Agosto, 1995.

BÜHLER, A. et al. **Dynamics of early skin formation of tiling mortars investigated by microscopy and diffuse reflectance infrared Fourier transformed spectroscopy.** Cement & Concrete Composites. N° 37, 161–170, 2013.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo (SP). 1996.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** IV Simpósio Brasileiro de argamassas. Anais IV SBTA. Brasília, 2001.

CARBONE, C.E. **Pastas de cimento branco modificadas com diferentes tipos de látex.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012.

CARDOSO, F.A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo (SP). 2009.

CINCOTTO, M.A.; SILVA, M.A.C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, (Boletim 68 IPT).

COPELAND, L.E.; KANTRO, D.L.; VERBECK, G. **Chemistry of Hydration of Portland Cement**. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association. Vol. I, Session N, Paper IV-3, 429-465. Washington, D. C., 1960.

COSTA E SILVA, A.J. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2001, 25p. (Boletim Técnico da EPUSP, BT/PCC/241).

COSTA, M.R.M.M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2006.

GALLEGOS, H. **Adhesión entre el mortero y las unidades de albanilería**. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia (GO), 1995. Anais do I SBTA. Goiânia: UFG/ANTAC, p. 117-133, 1995.

GALLUCI, E.; ZHANG, X.; SCRIVENER, K.L. **Effect of temperature on the microstructure of calcium silicate hydrate (C-S-H)**. Cement and Concrete Research. N° 53 185–195, 2013

HÄCKER, C. J.; ARNOLD, M.; KLEHR, H. **Investigation of the Adhesion Strength of Cementitious Tile Adhesives after Heat Ageing**. Shinetsu, SE, Tylose, GmbH, & Co. KG. Germany, 2011.

JENNI, A. **Microstructural evolution and physical properties of polymer-modified mortars**. Bern: University of Bern. 101p, 2003

JENNI, A. **Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars**. Cement and Concrete Research. N° 35, 35– 50, 2005

JENNI, A.; ZURBRIGGEN, R. **Morphology and composite structures of polymer phases in cement mortars**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais do V SBTA. São Paulo. 2003.

JENNI, A. **Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage.** Cement and Concrete Research. N° 36, 79 – 90, 2006.

KIRCHHEIM, A.P. **Aluminatos tricálcico cúbico e ortorrômbico: análise da hidratação in situ e produtos formados.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de doutorado em Engenharia Civil. 2008.

KJELSEN, K. O.; DETWILER, R. J. **Pore structure of plain cement pastes hydrated at different temperatures.** Cement and Concrete Research, Volume 20, Issue 6, November 1990.

KUDO, E.K.; CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G. **Squeeze Flow aplicado a argamassas colantes: influência de parâmetros experimentais de configuração e taxa de deslocamento.** In: IV Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do IV SBT. Belo Horizonte. 2011.

KUDO, E.K. **Caracterização reológica de argamassas colantes.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2012.

LAVELLE, J.A. **Acrylic latex-modified Portland cement.** ACI Materials Journal. p.41-48, 1988.

LOTHENBACH, B. **Effect of temperature on the pore solution, microstructure and hydration products of Portland cement pastes.** Cement and Concrete Composites. 37 483–491, 2007.

LUNARDI, S.; PELISSER, F. **Estudo da resistência de aderência de argamassa colante exposta a ciclos higrotérmicos.** Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC, 2011.

MANSUR, A.A.P. **Mecanismo físico-químico de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

MANSUR, A.A.P.; MANSUR, H.S. **Characterization of Copolymers Poly(Ethylene-co-vinyl acetate) for Dry- Set Mortar**. IX Congresso Brasileiro de Polímeros. São Paulo. 2007.

MANSUR, A.A.P.; NASCIMENTO, O.L.; MANSUR, H.S. **Physico-chemical characterization of EVA-modified mortar and porcelain tiles interfaces**. Cement and Concrete Research. N° 39. pp 1199-1208. 2009.

MARANHÃO, F.L. **Influência do tipo de argamassa colante e do revestimento na microestrutura e na resistência de aderência**. V SBTA Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do V SBTA. São Paulo. 2003.

MARANHÃO, F.L.; JOHN, V.M. **Bond strength and transversal deformation aging on cement-polymer adhesive mortar**. Construction and Building Materials. p. 1022-1027, 2009.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3ª Edição em Inglês. 1ª Edição em Português. Editora IBRACON. São Paulo, 2008.

MOURA, R.B.F. **Influência do EVA e MHEC na hidratação de pastas cimentícias**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade da Amazônia, 2009.

OHAMA, Y. **Polymer-based Admixtures**. Cement and Concrete Composites. N°. 20, 189-212, 1998.

OHAMA, Y. **Polymer-modified mortars and concretes**. In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.) Concrete Admixtures Handbook. New Jersey: Noyes Publications. Cap.7, p.337-429. 1984.

OLIVEIRA, J. **Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem**. 2004. 180p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

PAIVA, H. **Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents.** Construction and Building Materials. N° 23, 1141–1146. 2009.

PATURAL, L. **Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-base mortars.** Cement and Concrete Research. N °41, 46–55. 2009

PATURAL, L. **Influence of cellulose ether particle size on water of freshly-mixed mortars.** Journal du CEREM. hal-00457932, version 1 - 18 Feb 2010, Saint-Étienne Cedex 2, FRANCE.

PAUL, M.; GLASSER, F. P. **Impact of prolonged warm (85°C) moist cure on Portland cement paste.** Cement and Concrete Research Volume 30, Issue 12, December 2000.

PEREIRA, E. **Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

PETIT, J.Y.; WIRQUIN, E. **Evaluation of various cellulose ethers performance in ceramic tile adhesive mortars.** International Journal of Adhesion & Adhesives 40 (2013) 202–209.

PINTO, M.F.F.V.L. **Gelificação de Polímeros derivados da celulose.** Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro. Departamento de química. Coimbra, Portugal, 2007.

POURCHEZ, J. **HEC influence on cement hydration measured by conductometry.** Cement and Concrete Research. Volume 36, Issue 9, September 2006.

POURCHEZ, J. **HPMC and HEMC influence on cement hydration.** Cement and Concrete Research. Volume 36, Issue 2, February 2005.

POURCHEZ, J. **Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials.** Cement and Concrete Research, Volume 40, Issue 2, February 2010.

POURCHEZ, J.; GROSSEAU, P.; RUOT, B. **Changes in  $C_3S$  hydration in the presence of cellulose ethers.** Cement and Concrete Research. Volume 40, Issue 2, February 2010.

PÓVOAS, Y.V. **Avaliação da formação de “película” na argamassa colante e sua influência na adesão.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 2005.

PÓVOAS, Y.V. **Tempo em aberto de argamassa colante: Método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 1999.

PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **A influencia do HEC e do PVAC na perda de água por sucção das argamassas colantes.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais III SBTA, 1999.

PÓVOAS, Y.V.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M. **Análise da película superficial da argamassa colante no estado fresco.** In: VI Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do VI SBTA. Florianópolis. 2005.

ROSSA, J.J. **Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo ACI.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. UFPR. 2009.

RUOT, B.; GOTO, T.; POURCHEZ, J. **Some aspects of cellulose ether sand latexes influence on the properties of cement-based materials — examples of results obtained within the CEReM.** In: VII SBTA Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do VII SBTA. Recife. 2007.

SAKAI, E.; SUGITA, J. **Composite mechanism of polymer modified cement.** Cement and Concrete Research. N°. 25, 127-135, 1995.



SARAIVA, A.G. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistema de revestimentos cerâmicos de fachada.** Dissertação de mestrado do departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 1998.

SARAIVA, AG.; BAUER, E.; BEZERRA, L. M. **Análise das tensões entre argamassa colante e placas cerâmicas submetidas a esforços de natureza térmica.** Ambiente Construído. Porto Alegre. v.2, n.2, p. 47-56, 2002.

SCRIVENER, K.L. **The development of microstructure during the hydration of Portland cement.** PhD thesis. University of London. 1984.

SILVA, C.O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, D.A. **Pore size distribution of hydrated cement pastes modified with polymers.** Cement and Concrete Research. Volume 31, Issue 8, 2001.

SILVA, D.A.; MONTEIRO, P.J.M. **Análise da hidratação de fases cimentícias por técnica inovadora de microscopia: Efeitos dos polímeros HPMC e EVA – VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas.** Florianópolis. 2005a.

SILVA, D.A.; MONTEIRO, P.J.M. **Analysis of C<sub>3</sub>A hydration using soft X-rays transmission microscopy: Effect of EVA copolymer.** Cement and Concrete Research. Volume 35, Issue 10, October 2005b.

SILVA, D.A.; MONTEIRO, P.J.M. **ESEM analysis of polymeric film in EVA-modified cement paste.** Cement and Concrete Research. Volume 35, Issue 10, October 2005c.

SILVA, D.A.; ROMAN, H. R. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Florianópolis, 2001.

SILVA, D.A.; ROMAN, H. R. GLEIZE, P.J. P **Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement**. Cement and Concrete Research. Nº; 32, 1383–90, 2002.

SILVA, D.A. **Efeitos dos Polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland**. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Departamento de Engenharia dos Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

SILVA, D.A.; ROMAN, H. R.; SILVA, A. H. **Efeitos dos polímeros MHEC e EVA em algumas propriedades das argamassas colantes**. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais III SBTA. Vitoria. 1999.

TAYLOR, H.F.W. **Cement Chemistry**. Thomas Telford, 2ª Ed. (1997). Disponível em: [http://books.google.com.br/books?id=1BOETtwi7mMC&pg=PA305&hl=pt-BR&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.br/books?id=1BOETtwi7mMC&pg=PA305&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false). Acesso em: Junho de 2012.

VASCONCELOS, Y. **Desenvolvimento tecnológico nas fábricas de pisos e azulejos o Brasil ao posto de segundo produtor mundial**. Pesquisa FAPESP, Edição 205 - Março de 2013. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/03/15/ceramica-mais-sofisticada/> Acesso em: 11/08/2013.

WETZEL, A. **Long-term study on failure mechanisms of exterior applied tilings**. Construction and Building Materials. Nº 37 335–348, 2012.

WINNEFELD, F. **Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength**. Construction and Building Materials. Nº 30, 426–438, 2012.

ZURBRIGGEN, R. **A new laboratory method to investigate skin formation and open time performance**. In: Leopolder F, editor. Proceedings of the IDMMC three, 28-

29.3.2011, Nuremberg (Germany); Drymix Mortar Yearbook, 2011. ISBN 978-3-98140041-0. p. 48–54.

## **APÊNDICE A**

### **Resultados do ensaio de deslizamento – NBR14081-3 (2012)**

Apêndice A.1 – apresenta as tabelas com os valores das leituras do ensaio de deslizamento realizado para as formulações da primeira etapa – variação do cimento.

<b>25 CP_0, 20 HPMC_2, 0 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)</b>				<b>30 CP_0, 20 HPMC_2, 0 VAE_ 23,6 ÁGUA (%)</b>			
Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)	Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)
1	25,12	26,29	1,17	4	25,25	26,51	1,26
	25,21	26,39	1,18		25,34	26,63	1,29
2	25,32	26,48	1,16	8	25,30	26,58	1,28
	25,15	26,32	1,17		25,51	26,77	1,26
3	25,01	26,25	1,24	20	25,16	26,44	1,28
	25,47	26,61	1,14		25,09	26,35	1,26
<b>Média Final (mm):</b>		<b>1,18</b>		<b>Média Final (mm):</b>		<b>1,27</b>	

<b>35 CP_0, 20 HPMC_2, 0 VAE_ 24,0 ÁGUA (%)</b>				<b>40 CP_0, 20 HPMC_2, 0 VAE_ 24,5 ÁGUA (%)</b>			
Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)	Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)
36	25,11	26,63	1,52	6	25,31	27,85	2,54
	25,06	26,62	1,56		25,05	27,56	2,51
37	25,14	26,74	1,60	20	25,12	27,65	2,53
	25,20	26,75	1,55		25,26	27,75	2,49
38	25,31	26,89	1,58	42	25,09	27,65	2,56
	25,46	26,98	1,52		25,14	27,69	2,55
<b>Média Final (mm):</b>		<b>1,56</b>		<b>Média Final (mm):</b>		<b>2,53</b>	

Apêndice A.2 – apresenta as tabelas com os valores das leituras do ensaio de deslizamento realizado para as formulações da segunda etapa – variação do polímero HPMC com 25% de cimento.

25 CP_ 0,15 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)				25 CP_ 0,20 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
7	25,59	26,00	0,41	1	25,12	26,29	1,17
	25,11	25,52	0,41		25,21	26,39	1,18
9	25,05	25,43	0,38	2	25,32	26,48	1,16
	25,10	25,53	0,43		25,15	26,32	1,17
9	25,33	25,75	0,42	3	25,01	26,25	1,24
	25,09	25,47	0,38		25,47	26,61	1,14
Média Final (mm):		0,41		Média Final (mm):		1,18	

25 CP_ 0,25 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)				25 CP_ 0,30 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
10	25,74	26,65	0,91	15	25,71	26,68	0,97
	25,11	26,05	0,94		25,13	26,09	0,96
11	25,05	26,00	0,95	16	25,10	26,09	0,99
	24,95	25,91	0,96		24,99	25,93	0,94
14	25,23	26,17	0,94	18	25,31	26,28	0,97
	25,05	26,00	0,95		25,11	26,05	0,94
Média Final (mm):		0,94		Média Final (mm):		0,96	

Apêndice A.3 – apresenta as tabelas com os valores das leituras do ensaio de deslizamento realizado para as formulações da segunda etapa – variação do polímero HPMC com 35% de cimento.

35 CP_ 0,15 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)				35 CP_ 0,20 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
22	25,82	26,33	0,51	11	25,05	26,36	1,31
	25,68	26,28	0,60		25,13	26,41	1,28
32	25,94	26,47	0,53	14	25,63	27,02	1,39
	25,24	25,89	0,65		25,59	27,03	1,44
36	25,32	26,26	0,94	43	25,40	26,93	1,53
	25,77	26,75	0,98		25,23	26,75	1,52
Média Final (mm):		0,70		Média Final (mm):		1,41	

35 CP_ 0,25 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)				35 CP_ 0,30 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)	Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)
6	25,15	28,24	3,09	36	25,11	27,80	2,69
	25,05	28,10	3,05		25,06	27,71	2,65
20	25,01	28,22	3,21	37	25,14	27,76	2,62
	25,16	28,24	3,08		25,20	27,71	2,51
42	25,09	28,01	2,92	38	25,31	27,91	2,60
	25,14	28,09	2,95		25,46	28,12	2,66
Média Final (mm):		3,05		Média Final (mm):		2,62	

Apêndice A.4 – apresenta as tabelas com os valores das leituras do ensaio de deslizamento realizado para as formulações da segunda etapa – variação do polímero VAE com 25% de cimento.

25 CP_0, 20 HPMC_1, 0 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)				25 CP_0, 20 HPMC_1, 0 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)			
Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
22	25,82	26,23	0,41	11	25,11	25,69	0,58
	25,68	26,18	0,50		25,32	25,89	0,57
32	25,94	26,50	0,56	14	25,16	25,65	0,49
	25,24	25,79	0,55		25,33	25,88	0,55
36	25,52	26,01	0,49	43	25,22	25,75	0,53
	25,59	26,10	0,51		25,15	25,70	0,55
<b>Média Final (mm):</b>		<b>0,50</b>		<b>Média Final (mm):</b>		<b>0,55</b>	

25 CP_0, 20 HPMC_2, 0 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)				25 CP_ 0,20 HPMC_2, 5 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura Inicial	Leitura Final	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
1	25,12	26,29	1,17	11	25,12	26,41	1,29
	25,21	26,39	1,18		25,20	26,53	1,33
2	25,32	26,48	1,16	14	25,63	27,02	1,39
	25,15	26,32	1,17		25,59	27,03	1,44
3	25,01	26,25	1,24	43	25,36	26,85	1,49
	25,47	26,61	1,14		25,31	26,79	1,48
<b>Média Final (mm):</b>		<b>1,18</b>		<b>Média Final (mm):</b>		<b>1,40</b>	



Apêndice A.5 – apresenta as tabelas com os valores das leituras do ensaio de deslizamento realizado para as formulações da segunda etapa – variação do polímero VAE com 35% de cimento.

35 CP_0, 20 HPMC_1, 0 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)				35 CP_0, 20 HPMC_1, 5 VAE_ 23,0 ÁGUA (%)			
Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
22	25,82	26,33	0,51	1	25,05	26,26	1,21
	25,68	26,28	0,60		25,13	26,32	1,19
32	25,94	26,55	0,61	2	25,63	26,91	1,28
	25,24	25,83	0,59		25,59	27,03	1,44
36	25,32	26,26	0,94	3	25,40	26,67	1,27
	25,77	26,75	0,98		25,23	26,40	1,17
Média Final (mm):		0,71		Média Final (mm):		1,26	

35 CP_ 0,20 HPMC_2, 0 VAE_23, 0 Água (%)				35 CP_ 0,20 HPMC_2, 5 VAE_23, 0 Água (%)			
Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)	Nº Por.	Leitura I.	Leitura F.	Média (mm)
22	25,05	26,36	1,31	11	25,21	27,98	2,77
	25,13	26,41	1,28		25,32	28,04	2,72
32	25,63	27,02	1,39	14	25,72	28,54	2,82
	25,59	27,03	1,44		25,99	28,75	2,76
36	25,40	26,93	1,53	43	25,01	27,71	2,70
	25,23	26,75	1,52		25,10	27,85	2,75
Média Final (mm):		1,41		Média Final (mm):		2,75	

## **APÊNDICE B**

### **Resultados do ensaio de arrancamento – NBR14081-4 (2012)**

Apêndice B.1 – Refere-se aos resultados de cada corpo de prova arrancado do substrato padrão, para os dois tipos de cura normal (CN) e cura em estufa (CE), das formulações analisadas na primeira etapa - variação no teor de cimento.

Identificação:		25 CP		30 CP		35 CP		40 CP	
Cura:		CN	CE	CN	CE	CN	CE	CN	CE
Placa 1	CP 1	1,97	1,06	2,33	1,98	2,05	2,42	2,52	2,29
	CP 2	2,00	1,23	2,37	1,96	2,35	2,32	2,40	2,62
	CP 3	2,14	1,61	2,13	1,52	2,19	2,07	2,51	2,64
	CP 4	2,88	1,76	2,18	2,04	2,01	2,49	2,02	1,99
	CP 5	2,10	1,38	2,30	1,44	1,81	2,53	2,27	1,91
	CP 6	1,93	1,20	2,33	1,79	2,07	2,58	2,40	2,52
	CP 7	1,92	1,26	1,99	1,47	2,43	2,32	2,58	2,81
	CP 8	1,80	1,19	2,14	1,92	2,26	2,23	2,60	2,84
	CP 9	2,84	1,37	1,98	1,54	2,12	2,48	2,76	2,46
	CP 10	2,57	1,65	1,98	1,66	2,36	2,38	2,55	2,43
Placa 2	CP 11	1,63	1,51	1,92	1,82	2,25	2,13	2,34	2,23
	CP 12	1,87	0,91	2,39	1,37	2,02	2,23	2,21	2,39
	CP 13	1,86	1,41	2,37	1,70	2,18	2,58	2,25	2,81
	CP 14	1,97	1,56	2,29	1,74	2,39	2,21	2,37	2,54
	CP 15	1,92	1,85	2,33	1,67	2,06	2,22	2,11	2,46
	CP 16	1,58	1,15	1,97	1,82	2,32	2,38	2,65	2,82
	CP 17	1,70	1,09	2,25	1,84	2,41	2,16	2,25	2,96
	CP 18	1,63	1,60	2,33	1,52	2,26	2,29	2,63	2,70
	CP 19	1,71	1,28	2,20	1,29	2,15	2,51	2,27	3,00
	CP 20	1,65	1,46	2,01	1,63	2,08	2,62	2,33	3,16
Desvio máximo (20%):		2,38	1,65	2,63	2,02	2,63	2,83	2,88	3,09
Desvio mínimo (20%):		1,59	1,10	1,75	1,35	1,75	1,89	1,92	2,06
Desvio Padrão (0,3):		0,37	0,25	0,16	0,21	0,16	0,16	0,20	0,33
Média (MPa):		1,98	1,38	2,19	1,69	2,19	2,36	2,40	2,58

Apêndice B.2– Refere-se aos resultados de cada corpo de prova arrancado do substrato padrão, para os dois tipos de cura normal (CN) e cura em estufa (CE), das formulações analisadas na segunda etapa - variação no teor do polímero celulósico (HPMC) com 25% de cimento.

Identificação:		25 CP_ 0,15 HPMC		25 CP_ 0,20 HPMC		25 CP_ 0,25 HPMC		25 CP_ 0,30 HPMC	
Cura:		CN	CE	CN	CE	CN	CE	CN	CE
Placa 1	CP 1	1,43	1,45	1,63	1,06	1,41	1,41	1,37	1,17
	CP 2	1,45	1,67	1,87	1,23	1,46	1,33	1,45	1,16
	CP 3	1,59	1,68	1,86	1,61	1,49	1,31	1,52	1,35
	CP 4	1,43	0,98	1,97	1,60	1,53	1,29	1,34	1,21
	CP 5	1,52	1,52	1,92	1,38	1,56	1,34	1,49	1,23
	CP 6	1,54	1,14	1,58	1,20	1,54	1,37	1,45	1,27
	CP 7	1,62	1,29	1,70	1,26	1,25	1,40	1,41	1,24
	CP 8	1,60	1,25	1,63	1,19	1,60	1,30	1,32	1,24
	CP 9	1,47	1,12	1,71	1,37	1,58	0,86	1,41	1,18
	CP 10	1,62	1,10	1,65	1,65	0,90	1,36	1,39	1,40
Placa 2	CP 11	1,77	1,56	1,66	1,51	1,42	1,41	1,31	1,26
	CP 12	1,73	1,63	1,56	0,91	1,08	1,65	1,10	1,23
	CP 13	1,78	1,56	1,61	1,41	1,65	1,39	1,46	1,16
	CP 14	1,61	1,56	1,70	1,56	1,59	1,21	1,55	1,13
	CP 15	1,63	1,56	1,53	1,62	1,51	0,93	1,55	1,14
	CP 16	1,59	1,29	1,56	1,15	1,18	1,40	1,50	1,14
	CP 17	1,49	1,37	1,63	1,09	1,45	1,42	1,30	1,26
	CP 18	1,39	1,29	1,50	1,60	1,65	1,37	1,35	1,28
	CP 19	1,49	1,27	1,76	1,28	1,01	1,41	1,32	1,41
	CP 20	1,42	1,23	1,69	1,46	1,60	1,03	1,34	1,28
Desvio máximo (20%):		1,87	1,65	2,02	1,63	1,71	1,57	1,68	1,48
Desvio mínimo (20%):		1,25	1,10	1,35	1,09	1,14	1,05	1,12	0,99
Desvio Padrão (0,3):		0,12	0,21	0,13	0,22	0,22	0,18	0,11	0,08
Média (MPa):		1,56	1,38	1,69	1,36	1,42	1,31	1,40	1,24

Apêndice B.3– Refere-se aos resultados de cada corpo de prova arrancado do substrato padrão, para os dois tipos de cura normal (CN) e cura em estufa (CE), das formulações analisadas na segunda etapa - variação no teor do polímero celulósico (HPMC) com 35% de cimento.

Identificação:		35 CP_ 0,15 HPMC		35 CP_ 0,20 HPMC	
Cura:		CN	CE	CN	CE
Placa 1	CP 1	2,24	1,92	2,54	1,96
	CP 2	2,42	2,46	2,14	2,13
	CP 3	2,54	2,52	2,00	2,16
	CP 4	2,54	1,81	2,25	2,12
	CP 5	2,44	2,19	1,97	1,93
	CP 6	2,21	2,49	1,81	1,77
	CP 7	2,30	2,18	2,00	2,36
	CP 8	2,21	2,27	2,03	2,03
	CP 9	2,22	2,18	2,18	1,99
	CP 10	1,98	1,98	2,39	2,14
Placa 2	CP 11	2,40	2,46	1,86	2,14
	CP 12	2,62	2,25	1,99	2,65
	CP 13	2,56	1,92	2,00	2,32
	CP 14	2,38	2,48	1,99	2,03
	CP 15	2,54	2,28	2,32	2,00
	CP 16	2,14	2,10	1,73	1,89
	CP 17	2,29	2,36	1,89	2,31
	CP 18	2,30	2,29	2,10	2,16
	CP 19	2,93	2,26	1,91	2,04
	CP 20	2,54	2,20	1,81	2,10
Desvio máximo (20%):		2,87	2,68	2,46	2,53
Desvio mínimo (20%):		1,91	1,78	1,64	1,69
Desvio Padrão (0,3):		0,21	0,21	0,21	0,19
Média (MPa):		2,39	2,23	2,05	2,11

Apêndice B.4– Refere-se aos resultados de cada corpo de prova arrancado do substrato padrão, para os dois tipos de cura normal (CN) e cura em estufa (CE), das formulações analisadas na segunda etapa - variação no teor do polímero vinílico (VAE) com 25% de cimento.

Identificação:		25 CP_ 1,0 VAE		25 CP_ 1,5 VAE		25 CP_ 2,0 VAE		25 CP_ 2,5 VAE	
Cura:		CN	CE	CN	CE	CN	CE	CN	CE
Placa 1	CP 1	1,16	0,94	1,37	0,98	1,63	1,06	0,97	1,70
	CP 2	1,54	1,08	1,50	1,15	1,87	1,23	1,24	1,61
	CP 3	1,48	0,71	1,45	1,51	1,86	1,61	1,37	1,73
	CP 4	1,32	0,73	1,40	1,40	1,97	1,60	1,16	1,49
	CP 5	1,39	0,90	1,52	1,23	1,92	1,38	1,17	1,70
	CP 6	1,24	0,82	1,45	1,20	1,58	1,20	1,24	1,47
	CP 7	1,56	0,74	1,39	1,17	1,70	1,26	1,27	1,72
	CP 8	1,39	0,62	1,41	1,08	1,63	1,19	1,42	1,83
	CP 9	1,31	0,86	2,00	1,11	1,71	1,37	1,31	1,66
	CP 10	1,20	0,79	1,97	1,65	1,65	1,65	1,26	1,51
Placa 2	CP 11	1,20	0,78	1,50	1,33	1,66	1,51	1,31	1,56
	CP 12	1,63	0,67	1,04	1,23	1,56	0,91	1,30	1,82
	CP 13	1,48	0,54	1,67	1,49	1,61	1,41	1,49	1,67
	CP 14	1,50	0,75	1,58	1,76	1,70	1,56	1,23	1,48
	CP 15	1,28	0,71	1,42	1,26	1,53	1,62	1,37	1,44
	CP 16	1,22	0,68	1,45	1,15	1,56	1,15	1,10	1,44
	CP 17	1,31	0,65	1,47	1,09	1,63	1,09	1,10	1,45
	CP 18	1,35	0,75	1,09	1,27	1,50	1,60	0,89	1,64
	CP 19	1,61	0,60	1,97	1,18	1,76	1,28	1,19	1,63
	CP 20	1,42	0,68	1,56	0,87	1,69	1,46	1,12	1,59
Desvio máximo (20%):		1,66	0,90	1,81	1,51	2,02	1,63	1,47	1,93
Desvio mínimo (20%):		1,10	0,60	1,21	1,00	1,35	1,09	0,98	1,29
Desvio Padrão (0,3):		0,14	0,13	0,25	0,22	0,13	0,22	0,15	0,12
Média (MPa):		1,38	0,75	1,51	1,26	1,69	1,36	1,23	1,61

Apêndice B.5– Refere-se aos resultados de cada corpo de prova arrancado do substrato padrão, para os dois tipos de cura normal (CN) e cura em estufa (CE), das formulações analisadas na segunda etapa - variação no teor do polímero vinílico (VAE) com 35% de cimento.

Identificação:		35 CP_ 1,0 VAE		35 CP_ 1,5 VAE		35 CP_ 2,0 VAE	
Cura:		CN	CE	CN	CE	CN	CE
Placa 1	CP 1	1,74	1,38	2,06	1,68	2,54	1,96
	CP 2	2,00	1,84	2,18	1,61	2,14	2,13
	CP 3	1,55	1,61	2,34	1,92	2,00	2,16
	CP 4	1,70	1,01	2,36	1,97	2,25	2,12
	CP 5	1,94	1,17	2,34	1,60	1,97	1,93
	CP 6	1,95	1,51	1,95	2,11	1,81	1,77
	CP 7	1,86	1,39	2,06	1,85	2,00	2,36
	CP 8	1,46	1,42	1,89	2,01	2,03	2,03
	CP 9	1,90	1,42	1,56	1,98	2,18	1,99
	CP 10	1,49	1,41	1,98	1,45	2,39	2,14
Placa 2	CP 11	1,78	1,50	2,06	1,84	1,86	2,14
	CP 12	1,67	1,40	2,18	2,37	1,99	2,65
	CP 13	2,20	1,56	2,34	2,13	2,00	2,32
	CP 14	1,86	1,61	2,36	2,25	1,99	2,03
	CP 15	1,63	1,56	2,34	2,16	2,32	2,00
	CP 16	1,43	1,47	1,95	1,74	1,73	1,89
	CP 17	1,55	1,65	2,06	1,57	1,89	2,31
	CP 18	1,81	1,37	1,89	1,61	2,10	2,16
	CP 19	1,78	1,33	1,56	1,87	1,91	2,04
	CP 20	1,50	1,50	1,98	1,67	1,81	2,10
Desvio máximo (20%):		2,09	1,75	2,49	2,24	2,46	2,53
Desvio mínimo (20%):		1,39	1,16	1,66	1,50	1,64	1,69
Desvio Padrão (0,3):		0,21	0,17	0,24	0,25	0,21	0,19
Média (MPa):		1,74	1,46	2,07	1,87	2,05	2,11